

خوارزمية شعاع العناوين متعددة القفزات (AV-MH) لتحديد الموضع في شبكات الحساسات اللاسلكية

الدكتور جمال خليفة*

الدكتور حسن البستاني**

مهند هلال عيسى***

(تاريخ الإيداع 21 / 8 / 2016. قُبِلَ للنشر في 20 / 2 / 2017)

□ ملخص □

تعتبر عملية تحديد الموضع عملية أساسية في الكثير من تطبيقات الحساسات اللاسلكية كتطبيقات المراقبة البيئية وكشف حرائق الغابات، حيث ترمى الحساسات عشوائيا في الأماكن التي يصعب الوصول إليها، وباعتبار محدودية الحساسات اللاسلكية من حيث الطاقة المتوفرة وقدرة المعالجة تبرز الحاجة إلى خوارزمية غير مكلفة من الناحية المادية ومن ناحية استهلاك الطاقة لتحديد موضع الحساسات.

تم في هذا البحث اقتراح خوارزمية جديدة لتحديد موضع تقريبي للحساسات Address Vector Multi Hop (AV_MH)، تعتمد هذه الخوارزمية على فكرة الاستفادة من عملية توزيع العناوين القصيرة في الشبكات التي تدعم العنوان الهرمية باعتبار أن أهم التقنيات المستخدمة في مجال شبكات الحساسات مثل ZigBee 6LowPAN والتي تعتمد المعيار IEEE802.15.4 تدعم هذه العنوانية.

بينت النتائج إمكانية الحصول على موضع تقريبي للحساسات اللاسلكية بطريقة سريعة وغير مكلفة من الناحية المادية ومن ناحية عدد الرسائل المرسل والمرسلة والحسابات المطلوبة.

الكلمات المفتاحية: شبكات الحساسات اللاسلكية، حرائق الغابات، خوارزميات تحديد الموضع، العنوانية الشجرية، المعيار IEEE802.15.4.

* أستاذ - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

** مدرس - كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات - جامعة طرطوس - سورية.

*** طالب دراسات عليا (دكتوراه) - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Address Vector Multi Hop (AV_MH) Localization Algorithm in Wireless Sensor Network

Dr. Gamal Khalefa^{*}
Dr. Hasan Albustani^{**}
Mohannad Issa^{***}

(Received 21 / 8 / 2016. Accepted 20 / 2 / 2017)

□ ABSTRACT □

Localization is an essential process in many wireless sensors Networks applications like environmental surveillance and forest fires detection where sensors usually randomly thrown in difficult to reach places, considering the limited wireless sensors capability in terms of energy availability and the capacity of computations a low cost and energy conservation algorithms are needed to determine the approximate position of the sensors. In this research a new algorithm was proposed 'Address Vector Multi Hop (AV_MH)' to determine the position of the randomly deployed sensors, this algorithm is based on the idea of making benefit from short address Assignment in networks that support hierarchical addressing, considering that the most important techniques used in the field of sensor networks such as ZigBee and 6LowPAN which depend on the IEEE802.15.4 standard supports this type of addressing.

The results showed the possibility of obtaining an approximate position of the wireless sensors in a rapid and inexpensive and cost effective way in terms of the number of sent messages and required calculations.

Keyword: Wireless Sensor Networks, Forest Fire, Localization Algorithms, Hierarchical Addressing, IEEE802.15.4 Standard.

^{*}Professor, Department of communications and Electronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

^{**}Assistant Professor -Faculty of Information Technology Engineering – Tartus University, Tartus, Syria.

^{***}Postgraduate Student, Department of communications and Electronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

في كثير من تطبيقات شبكات الحساسات اللاسلكية نحن بحاجة إلى تحديد موضع تقريبي للحساسات، وأسهل طريقة لتحديد موضع الحساسات هي وضع الحساس في موضع محدد مسبقاً " حيث يمكن اتخاذ هذا الإجراء في الأماكن التي يسهل الوصول إليها في بيئة عمل الشبكة، لكن هذه الطريقة ليست متاحة في الأماكن التي يصعب الوصول إليها. ويمكن تحديد موضع الحساسات بطريقة أخرى هي استخدام النظام العالمي للموضع GPS، إلا أن استخدامه لا يفي بالغرض في بعض الأماكن، إما لضعف التغطية كالحساسات المستخدمة داخل المباني أو تحت الأرض أو في بيئة الغابة ذات الطبيعة والظروف الجوية المتغيرة وحركة الأشجار، أو بسبب كلفته العالية عند تزويد كل حساس بهذا النظام.

وبما أنه في مجال تطبيقات المراقبة البيئية وكشف حرائق الغابات كمثال، يمكن الاستغناء عن التحديد الدقيق للموضع من أجل توفير استهلاك الطاقة، وذلك لأن الوصول إلى الحريق لا يتطلب تحديداً دقيقاً لمكان الحساس، ولأن زمن حياة الشبكة يعتمد على مدى توفير الطاقة في الحساسات التي تعتمد على البطاريات في عملها، وبمراعاة محدودة إمكانات الحساسات من حيث قدرة المعالجة والتخزين، نحن بحاجة إلى البحث عن تقنيات أو خوارزميات أقل كلفة وموفرة للطاقة وأسرع في عملية إيجاد وتحديث الموضع.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في تقديم خوارزمية جديدة في مجال تحديد الموضع في شبكات الحساسات اللاسلكية، والتي يتطلب تطبيقها نشر بعض الحساسات عشوائياً من أجل الحصول على معلومات وبيانات يحددها موضع كل حساس، وبما أن هذه المعلومات تكتسب قيمتها باقترانها بموضع الحساس كما في شبكات الحساسات المستخدمة في الكشف عن حرائق الغابات، وبسبب كلفة استخدام نظام تحديد الموضع GPS في كل حساس واستهلاكه المرتفع للطاقة، تم اقتراح خوارزمية تموضع جديدة غير مكلفة من الناحية المادية ومن ناحية عدد الرسائل المتبادلة وسهولة حساب الموضع.

طرائق البحث ومواده:

يُيجاد خوارزمية قادرة على تحديد موضع تقريبي للحساسات بطريقة غير مكلفة من الناحية المادية ومن ناحية عدد الرسائل المتبادلة في الشبكة واللازمة لتحديد الموضع، وكذلك قليلة التأثير بالعوائق التي تعترض مسار الإشارة. إنشاء تطبيق برمجي بلغة ++C من أجل اختبار الخوارزمية ودراسة العوامل المؤثرة على دقة تحديد الموضع. التأكد من عمل الخوارزمية باستخدام المحاكى (NS2) Network Simulator Version 2.

تصنيف خوارزميات تحديد الموضع:

توجد العديد من خوارزميات تحديد الموضع، والتي تعتمد بشكل عام على فكرة وضع عدد من الحساسات محددة الموضع مسبقاً" أو بواسطة نظام تحديد الموقع (مرشادات Anchors) ضمن منطقة الحساسات غير محددة الموضع، ترسل هذه الحساسات إشارات تعمل كمرشد ومساعد لباقي الحساسات في تحديد موضعها. وتصنف هذه الخوارزميات إلى:

-**الخوارزميات المعتمدة على المدى**: حيث يتم تحديد الموضع اعتمادا على المسافة أو زاوية الإرسال بين المرشحات والحساسات غير محددة الموضع عن طريق قياس شدة الإشارة المستقبلية Received Signal Strength (RSS)، وتنتمي الخوارزميات المعتمدة على زمن الوصول (Time of Arrival (ToA)، فرق زمن الوصول (Time Difference of Arrival (TDoA) [1]، زاوية الوصول (Angle of Arrival (AoA) إلى هذا الصنف [2]. هذه الخوارزميات تؤمن دقة تحديد موضع عالية، إلا أن دقتها تعتمد على جودة العتاد المستخدم لقياس المدى، وتتأثر شدة الإشارة المستقبلية RSSI بظروف الطقس، وتختلف قيمتها بحسب الأيام وبحسب الوقت من اليوم مع تغير قيم الحرارة والرطوبة، [3] لذلك لا يفضل استخدام هذا الصنف من الخوارزميات لتحديد الموضع في البيئة الخارجية التي تتعرض لتقلبات الطقس إلا بعد دراسة تأثير هذه العوامل على شدة الإشارة المستقبلية.

-**الخوارزميات غير المعتمدة على المدى**: تعتمد هذه الخوارزميات على معلومات الاتصال بين الحساسات في الشبكة عند تقدير موضع الحساسات، لا تحتاج هذه الخوارزميات إلى إضافة عتاد جديد لعمل الخوارزمية لذا ليس هناك كلفة إضافية، وهي أقل تأثرا بعوامل البيئة [4] لذا ستنتمي الخوارزمية المقترحة إلى هذا الصنف. تصنف خوارزميات تحديد الموضع أيضا إلى مجموعة من التصنيفات الفرعية اعتمادا على تغطية المرشحات أو طريقة حساب الموضع أو حركة الحساسات والمرشحات [5].

1 مراحل تحديد الموضع:

تنفذ خوارزميات تحديد الموضع عادة على مرحلتين أساسيتين: قياس البعد عن المرشحات، تحديد موضع الحساسات وتقليل خطأ قياس الموضع.

1.1 1- قياس البعد عن المرشحات:

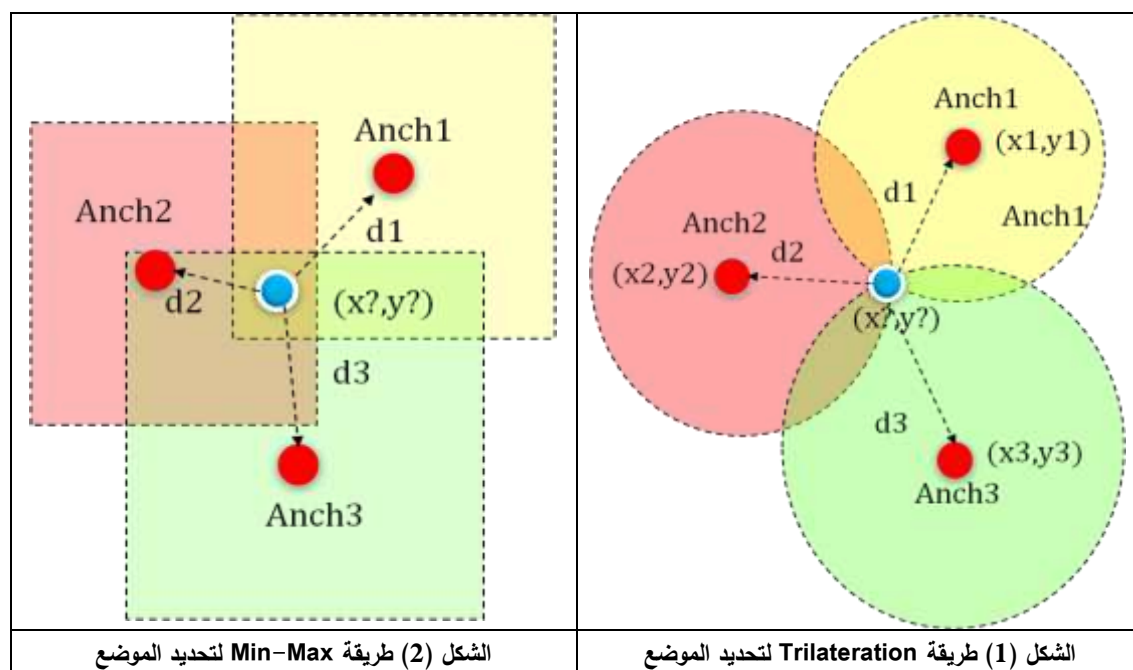
عن طريق حساب المسافة باستخدام مؤشر شدة الإشارة المستقبلية، أو تجميع المسافات الجزئية المحسوبة باستخدام شدة الإشارة المستقبلية في مسار تحويل الإشارة، أو حساب المسافة باستخدام عدد القفزات الفاصلة عن كل مرشد والمسافة الوسطية للقفرة.

1.2 2- حساب الموضع اعتمادا على البعد عن المرشحات.

أشهر الطرائق لحساب الموضع هي Lateration حيث يتم تحديد موضع الحساس اعتمادا على تقاطع الدوائر (في المستوى ثنائي الأبعاد) أو الكرات (في المستوى ثلاثي الأبعاد) المشكلة بأنصاف أقطار تساوي بعد الحساس غير محدد الموضع عن كل مرشد، حيث يحتاج الحساس 3 مرشحات على الأقل في المستوى ثنائي الأبعاد و 4 مرشحات على الأقل في المستوى ثلاثي الأبعاد، كما توجد طريقة Min_Max التي تؤمن دقة أقل في تحديد الموضع ولكن تحتاج إلى عدد أقل من الحسابات.

1 2 طريقة Trilateration:

تستخدم لحساب الموضع في المستوى الثنائي اعتمادا على مواضع ثلاثة مرشحات وهي الطريقة المتبعة في خوارزمية DV-Hop الشهيرة وتحديثاتها الكثيرة [6-7]. في البداية نقوم بكتابة معادلة الدوائر المشكلة بأنصاف أقطار تساوي بعد الحساس غير محدد الموضع (x_i, y_i) عن المرشد (x_j, y_j)



$$(x_1 - x_i)^2 + (y_1 - y_i)^2 = d_1^2 \quad (1)$$

$$(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 = d_j^2 \quad (2)$$

ولحل المعادلات يتم طرح آخر معادلة من جميع المعادلات السابقة

$$x_1^2 - x_j^2 - 2(x_1 - x_j)x_i + y_1^2 - y_j^2 - 2(y_1 - y_j)y_i = d_1^2 - d_j^2 \quad (3)$$

$$x_{j-1}^2 - x_j^2 - 2(x_{j-1} - x_j)x_i + y_{j-1}^2 - y_j^2 - 2(y_{j-1} - y_j)y_i = d_{j-1}^2 - d_j^2 \quad (4)$$

يمكن تنظيم المعادلات السابقة لتشكل المصفوفات الآتية

$$A.X - B = 0 \quad (5)$$

$$A = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_j) & 2(y_1 - y_j) \\ 2(x_2 - x_j) & 2(y_2 - y_j) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_{j-1} - x_j) & 2(y_{j-1} - y_j) \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$B = \begin{bmatrix} x_1^2 - x_j^2 + y_1^2 - y_j^2 + d_j^2 - d_1^2 \\ x_2^2 - x_j^2 + y_2^2 - y_j^2 + d_j^2 - d_2^2 \\ \vdots \\ x_{j-1}^2 - x_j^2 + y_{j-1}^2 - y_j^2 + d_j^2 - d_{j-1}^2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

إذا لم يكن هنالك أي خطأ في قياس المسافة وتواجد العدد الكافي من المرشحات ولم تكن المرشحات على خط

واحد ستتقاطع الدوائر الثلاثة في نقطة واحدة ويكون للمعادلة حل مشترك:

$$X = A^{-1}B \quad (8)$$

لكن في الحالة العملية يوجد خطأ في تقدير المسافة عن كل مرشد وبالتالي لا تتقاطع الدوائر في نقطة وحيدة بل ينتج لدينا مجال ومجموعة من الحلول وبالتالي لابد من استخدام تقنيات تحليلية لإيجاد الحل الذي يؤمن خطأ أقل من عتبة معينة حيث يمكن استخدام طريقة المربعات الصغرى least square لإيجاد الحل:

$$\mathbf{x} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{B} \quad (9)$$

وبذلك نحصل على موضع الحساس، لكن هذه الطريقة مكلفة من ناحية المعالجة.

2-2 طريقة Min-Max

تعتمد نفس فكرة Lateration لكن باستخدام المربعات بدل الدوائر ويكون موضع الحساس غير محدد الموضع هو مركز تداخل المساحة الناتجة من تداخل المربعات المشكلة بمراكز المرشحات، عرض منطقة التداخل يحدد بأصغر أكبر وأكبر أصغر بعد أفقي عن المرشحات، وطول منطقة التداخل تحدد بأصغر أكبر وأكبر أصغر بعد عمودي عن المرشحات [8].

(13)

$$x_{max} = \begin{bmatrix} x_1 + d_1 \\ x_2 + d_2 \\ x_3 + d_3 \\ \vdots \\ x_j + d_j \end{bmatrix}$$

(12)

$$y_{max} = \begin{bmatrix} y_1 + d_1 \\ y_2 + d_2 \\ \vdots \\ x_j + d_j \end{bmatrix}$$

(11)

$$x_{min} = \begin{bmatrix} x_1 - d_1 \\ x_2 - d_2 \\ \vdots \\ x_j - d_j \end{bmatrix}$$

(10)

$$y_{min} = \begin{bmatrix} y_1 - d_1 \\ y_2 - d_2 \\ \vdots \\ x_j - d_j \end{bmatrix}$$

$$x_{min-max} = \min(x_{max}), x_{max-min} = \max(x_{min}) \quad (14)$$

$$y_{min-max} = \min(y_{max}), y_{max-min} = \max(y_{min}) \quad (15)$$

ويكون موضع الحساس $SN(x_i, y_i)$ هو مركز مربع التداخل

$$x_i = (x_{min-max} + x_{max-min})/2 \quad (16)$$

$$y_i = (y_{min-max} + y_{max-min})/2 \quad (17)$$

2 أنظمة العنونة الهرمية المستخدمة في شبكات الحساسات اللاسلكية

2.1 العنونة في ZigBee

ZigBee هي تقنية لاسلكية مطورة من قبل هيئة ZigBee alliance، تؤمن حساسات منخفضة التكلفة ومنخفضة الاستهلاك للطاقة تعمل على بطاريات أو ألواح شمسية وهذه الحساسات مناسبة لعمل التطبيقات ذات معدلات النقل المنخفضة والمدى القصير، تعتمد تقنية ZigBee في عملها على المعيار IEEE 802.15.4 [9] الذي عرف الطبقة الفيزيائية وطبقة وصلة البيانات، بينما قامت هي بتطوير عمل الطبقات الأعلى، الإصدار الحديث من هذه التقنية هو ZigBee IP الذي قام بدعم بروتوكول الانترنت 6PV من خلال دمج تقنية LowPAN 6.

تصنف الأجهزة في ZigBee بحسب وظيفتها إلى [10]:

الأجهزة مكتملة الوظائف Full Functional Devices FFD: منسق الشبكة والموجه.

الأجهزة مختصرة الوظائف Reduced Functional Devices RFD: أجهزة التحسس.

تستخدم ZigBee نظامين للعنونة: العنونة العشوائية SAAM والعنونة الموزعة DAAM. نظام العنونة SAAM لا يمكن الاستفادة منه لتحقيق العنونة الهرمية. أما نظام العنونة DAAM فهو يقوم بعنونة الشبكة هرمياً وبشكل موزع.

2.1.1 العنونة الموزعة DAAM في ZigBee

يقوم منسق الشبكة Network Coordinator بداية بتحديد العدد الأعظمي للأبناء C_m والذي يمكن لأي محطة أن تمتلكه، كذلك العدد الأعظمي من الموجهات R_m وباقي المحطات تكون محطات طرفية $ZEDs$ كما يقوم بتحديد العمق الأعظمي في الشبكة من خلال البارامتر L_m . افتراضياً يمتلك المنسق مؤشر عمق مساوي إلى الصفر بينما أبنائه الأوائل يتكون مؤشر عمق مساوي إلى $1/1$ ، ولكل محطة مؤشر عمق يدل على عدد القفزات الواجب على الإطارات إتباعها عند إرسالها إلى المنسق. يستخدم كل موجه في الشبكة البارامترات C_m ، R_m ، L_m لحساب التابع C_{skip} function الذي يحدد حجم العناوين الفرعية التي يمكنه إسنادها. فإذا كان عمق الموجه d يمكن حساب التابع $C_{skip}(d)$ بالعلاقة التالية [11]:

$$C_{skip}(d) = \begin{cases} 1 + C_m * (L_m - d - 1) & \text{if } R_m = 1 \\ \frac{1 + C_m - R_m L_m^{d-1}}{1 - R_m} & \text{if } R_m < 1 \end{cases} \quad (18)$$

والموجه الذي يمتلك قيمة التابع $C_{skip}(d)$ مساوية إلى صفر لا يمكنه امتلاك أي حساس ابن ويعامل كمحطة طرفية، والموجهات التي تمتلك قيمة للتابع أكبر من الصفر يمكنها قبول الأبناء وإسناد العناوين. لنفترض الموجه الأب بعمق d ويمتلك العنوان A_{parent} فيكون عدد الأبناء n حيث $1 \leq n \leq (C_m - R_m)$ ويكون عنوان الموجه الابن A_{child} الذي ترتيبه n

$$A_{child} = A_{parent} + (n - 1) * C_{skip}(d) + 1 : n = 1 \quad (19)$$

$$A_{child} = A_{parent} + (n - 1) * C_{skip}(d) : n > 1 \quad (20)$$

وعناوين الأجهزة الطرفية تحسب من العلاقة: $A_{child} = A_{parent} + R_m * C_{skip}(d) + n$ (21) هكذا يمكننا استخلاص عمق كل حساس ضمن الشبكة عند معرفة عنوانه أو يمكن إضافة معلومات العمق مع عنوان الأب وعنوان الأبناء أثناء تبادل حزم البيانات كي لا يتم تحميل الشبكة رسائل إضافية.

2.2 العنونة الهرمية في شبكات 6LowPAN:

6LowPAN تقنية اتصال تمكن من تشغيل بروتوكول الانترنت IPV6 في الأجهزة منخفضة التكلفة ومنخفضة الاستهلاك للطاقة ومنخفضة معدل النقل والتي تعتمد على المعيار 802.15.4، وبذلك تمكن هذه الأجهزة من تحقيق الاندماج في بيئة انترنت الأشياء IOT [12].

عملية تشكيل الشبكة وإسناد العناوين في شبكات 6LowPAN عند العمل وفق البنية الهرمية باستخدام البروتوكول [13] Hilow مشابهة لعملية إسناد العناوين في ZigBee، إلا أنها تعتمد على عدد الأبناء فقط في تحديد مجال العناوين ولا تعتمد العمق المسموح في الشبكة، كما أن العنونة لا تفرق بين الحساسات مكتملة الوظائف أو منقوصة الوظائف. في البداية يقوم الحساس مكتمل الوظائف بفحص المجال الترددي بحثاً عن إشارات من أجهزة تعمل وفق 6LowPAN، فإذا لم يجد إشارات فإنه يبدأ شبكة جديدة ويصبح منسق لهذه الشبكة، أما إذا استقبل إشارة فإنه يقوم بمحاولة الارتباط بالحساس الذي استقبل إشارته، وعند نجاح عملية الارتباط يحصل الحساس على عنوان قصير 16 بت ويصبح ذلك الحساس أباً له. إذا كان ذلك الحساس أول ابن فإن الأب يعطيه عنواناً بالاعتماد على العلاقة

التالية: (22) $FC = MC * AP + 1$ حيث MC : تمثل عدد الأبناء المسموح لكل أب الارتباط به، AP : هو عنوان الأب. وإذا لم يكن الابن الأول فإن الأب يفتش عن آخر عنوان معطى لابن ويضيف إليه 1 ويرسله إلى الابن الجديد.

3 خوارزمية شعاع العناوين المقترحة AV_MH

تعتمد هذه الخوارزمية على فكرة الاستفادة من عملية بناء الشبكة وتوزيع العناوين في تحديد موضع تقريبي للحساسات، وذلك للشبكات التي تدعم العنوان الهرمية مثل شبكات ZigBee باستخدام نظام العنوان الموزعة DAAM، أو شبكات 6LoWPAN باستخدام العنوان الموصفة في بروتوكول التحويل الهرمي HiLOW، ولا بد من الإشارة إلى أنه يمكن استخدام أي نظام آخر للعنوان الهرمية حيث تختلف هذه الأنظمة عن بعضها بمدى كفاءتها في استثمار المجال المخصص للعناوين القصيرة والذي مجاله 16 بت بحسب المعيار IEEE802.15.4 وتختلف أيضا في سرعتها وقدرتها على إسناد عناوين غير مكررة واستيعاب عناوين جديدة.

3.1 بناء الشبكة

تتبع عملية بناء الشبكة هرميا الخطوات الآتية:

يرسل منسق عنوانه وعنوان معرف الشبكة إلى جميع الحساسات الواقعة ضمن نطاق تغطيته. تستقبل الحساسات في المستوى الأول الإشارة من المنسق فقط ويصبح المنسق أباً لها، وفي باقي المستويات تستقبل الحساسات إشارات الإرشاد من مجموعة من الحساسات التي انضمت إلى الشبكة حيث يتم اعتبارهم كأباء محتملين، وتقوم هذه الحساسات بإرسال طلب الارتباط إلى الأب ذو المستوى الأعلى والذي تكون شدة إشارته المستقبلية أعلى.

يبني كل حساس ببناء جدول جوار يتضمن الحساسات التي تقع ضمن مجال تغطيته وعمقها في الشبكة وجودة الوصلة بينه وبينها ويقوم بتوصيف علاقته معها ضمن أحد التصنيفات الآتية (أب محتمل، أب، جار، ابن). يحصل الحساس عند قبول ارتباطه على عنوانه الجديد بحسب نظام العنوان المستخدم في الشبكة وكما ذكرنا يمكن استخدام أي نظام للعنوان الهرمية ويحصل أيضا على عمقه من الأب. تدخل الحساسات أثناء عملية بناء الشبكة بالحالات الآتية (إرسال - استقبال - بحث عن أب - شاغرة).

3.2 خوارزمية تحديد الموضع

عند اكتمال بناء الشبكة وارتباط الحساسات وتوزيع العناوين ستتشكل فروع في الشبكة وسينتمي كل مرشد (x_{anch}, y_{anch}) أو مجموعة من المرشحات إلى فرع من فروع الشبكة المشكلة. يقوم كل مرشد بإرسال معلومات موقعه الصحيحة إلى المنسق فقط (x_{coor}, y_{coor}) عبر مسار هرمي من الابن إلى الأب ضمن الفرع الذي ينتمي إليه، هكذا احتمالية تصادم رسائل المرشحات قليلة جدا. يقوم منسق المجموعة بحساب متوسط المسافة للفرع في كل فرع d_{i_m} من خلال العلاقة

$$d_{avg_m} = \frac{\sum_{i=1}^{j_m} \sqrt{(X_{anch(i)} - X_{coor})^2 + (Y_{anch(i)} - Y_{coor})^2}}{\sum L_i} \quad L_i \leq L_m \quad (22)$$

j_m : عدد المرشحات في الفرع m .

L_i : عمق المرشد.

يحسب المنسق ميل كل مرشد عن خط أفقي يمر من خلاله عن طريق العلاقة الآتية:

$$\Omega_i = \frac{Y_{anch(i)} - Y_{coor}}{X_{anch(i)} - X_{coor}} \quad i \in [1..j_m] \quad (23)$$

ثم يحسب اتجاه العناوين في كل فرع من فروع الشبكة والذي يمثل متوسط ميل المرشحات المنتمية للفرع

$$\Omega_{avg_m} = \frac{\sum_{i=1}^m \Omega_i}{m} \quad (24)$$

يرسل المنسق متوسط الميل Ω_{avg_m} ومتوسط المسافة d_{avg_m} لحساسات كل فرع، وبذلك يتمكن كل حساس $SN(x_i, y_i)$ في الشبكة من حساب موضعه بالطريقة الآتية:

$$\emptyset = \tan^{-1} \Omega_{avg_m} \quad (25)$$

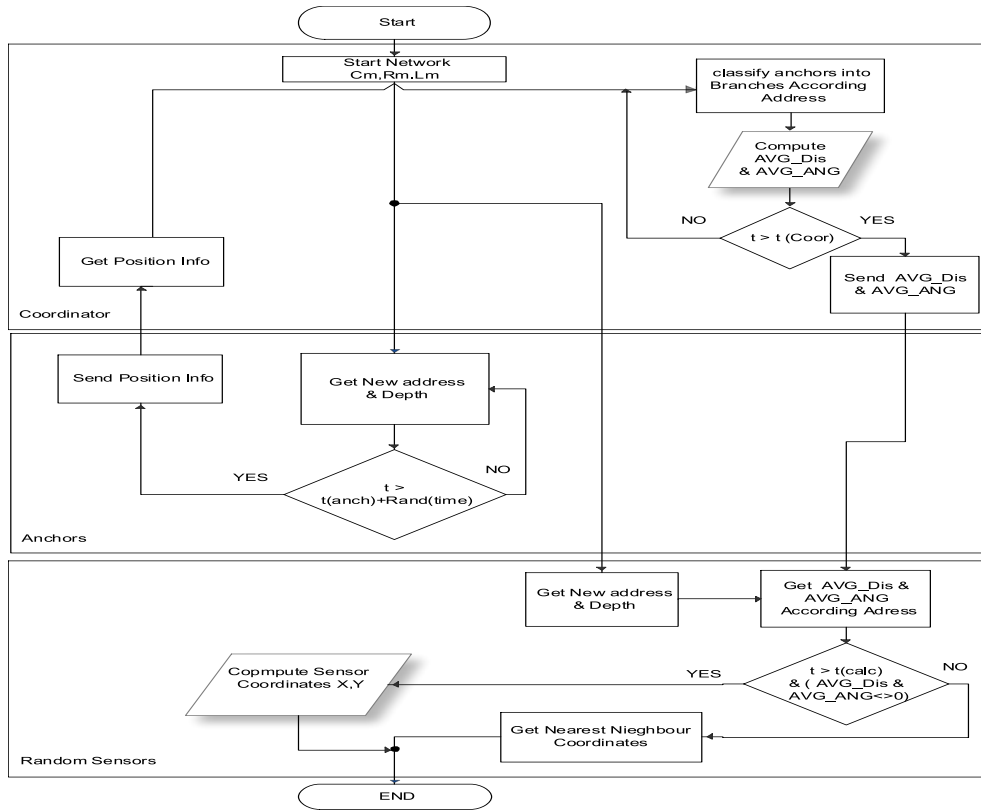
$$\hat{X}_i = L_i \cdot d_m \cdot \cos \emptyset \quad (26)$$

$$\hat{Y}_i = L_i \cdot d_m \cdot \sin \emptyset \quad (27)$$

بالنسبة للحساسات التي لم تفلح في تحديد موضعها بسبب عدم انتماءها لفرع متعدد القفزات كالحساسات القريبة من المنسق، أو بسبب انتمائها لفرع لا يحتوي على مرشحات نتيجة لنقص عدد المرشحات أو التوزيع الخاطئ لها، يمكن تحديد موضعها باستخدام طريقة *MIN_MAX, Lateration*. المذكورتين سابقا وذلك اعتمادا على موضع الحساسات التي تم تحديد موضعها. لكن بسبب أن أغلب الحساسات التي لا تحدد موضعها عند التوزيع الجيد للمرشحات هي الحساسات القريبة من المنسق والتي لم تشكل فروع، لذلك لتوفير عمليات الحساب ستقوم هذه الحساسات بفحص جدول الجوار واعتماد موضع أقرب حساس بجوارها.

تؤمن هذه الخوارزمية سرعة في عملية تحديد الموضع عند إضافة حساسات جديدة أو عند تحرك الحساسات في الشبكة، حيث يكفي أن تحصل من الحساس الأب على الميل الوسطي والمسافة الوسطية للفرع الذي ترتبط فيه لتحديد موضعها بشكل فوري وسريع، دون الحاجة إلى حساب بعدها الجديد عن المرشحات والقيام بعمليات حسابية معقدة لتحديد الموضع.

لا تتطلب هذه الخوارزمية إعادة حساب متكررة لمواضع الحساسات. بل يتم تحديث الميل والمسافة الوسطية للفرع فقط في حالة انتماء المرشحات إلى فروع أخرى أو إضافة مرشحات جديدة وهكذا توفر قسطا كبيرا من الطاقة اللازمة لتحديث الموضع. ويبين الشكل التالي المخطط التدفقي لعمل الخوارزمية



الشكل (3) المخطط التدفقي لخوارزمية تحديد الموضع

ولتحقيق المتطلبات السابقة قمنا ببناء تطبيق برمجي باستخدام C++ ومن ثم قمنا بالتأكد من عمل الخوارزمية باستخدام المحاكى NS2.

4 معاملات دقة تحديد الموضع

5.1 خطأ تحديد الموضع للحساس: ويقدر بفرق المسافة بين الموضع التقريبي المقدر للحساس والموضع

الحقيقي كنسبة مئوية من مجال الإرسال للحساسات R ، ويعطى بالعلاقة:

$$E_i = \frac{\sqrt{(\hat{X}_i - X_i)^2 + (\hat{Y}_i - Y_i)^2}}{R} \quad (28)$$

5.2 متوسط خطأ تحديد الموضع: هو عبارة عن متوسط الخطأ لجميع الحساسات التي تم تحديد

موضعها، والتي يبلغ عددها n حساس.

$$Avg_E = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(\hat{X}_i - X_i)^2 + (\hat{Y}_i - Y_i)^2}}{R * n} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (29)$$

1.3 تباين تحديد الموضع (V) والانحراف المعياري (S) Standard Deviation:

يعبران عن مدى تشتت أو تباعد قيم تحديد الموضع عن القيمة المتوسطة. التباين يمثل متوسط مجموع مربعات (فرق قيم

خطأ تحديد الموضع المقدر عن القيمة المتوسطة للخطأ) والانحراف يمثل الجذر التربيعي للتباين. كلما كانت قيمتهما أقل كانت الخوارزمية أكثر ثباتاً".

$$V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (|E_i| - Avg_E * R)^2}{(n) * R^2}} \quad (30)$$

$$S = +\sqrt{V} \quad (31)$$

5.4 عدد الرسائل المرسلة في عملية تحديد الموضع: يعبر عن عدد جميع الرسائل المرسلة من قبل جميع الحساسات من أجل عملية تحديد الموضع وكلما كان عدد الرسائل أقل نكون قد وفرنا في زمن تحديد الموضع وكذلك في طاقة الاتصالات المصروفة في الشبكة.

4.1 البارامترات العامة للعمل

نفترض منطقة الدراسة عبارة عن مساحة مربعة 10000 م². نرمي عشوائياً في هذه المنطقة n حساس غير محدد الموضع، الموضع الفعلي لهذه الحساسات $SN_i(X_i, Y_i)$ حيث $i = 1, \dots, n$ ، والموضع التقريبي الذي يتوجب علينا حسابه $\bar{SN}_i(\bar{X}_i, \bar{Y}_i)$. نفرض أن منسق الشبكة $SN_{Coor}(X_{Coor}, Y_{Coor})$ يتوضع على طرف أو في منتصف منطقة الدراسة، ونقوم بوضع m حساس على محيط المنطقة في الأماكن التي يمكن الوصول إليها. $SN_{Anch(j)}(X_{Anch(j)}, Y_{Anch(j)})$ حيث $j = 1, \dots, m$ هذه الحساسات يتم وضعها في أماكن محددة مسبقاً وتعمل كمرشحات لتعيين مواضع باقي الحساسات في الشبكة، نفترض أن المرشحات وجميع الحساسات الأخرى في الشبكة تمتلك نفس الخصائص من ناحية الطاقة المتوفرة ومجال الإرسال.

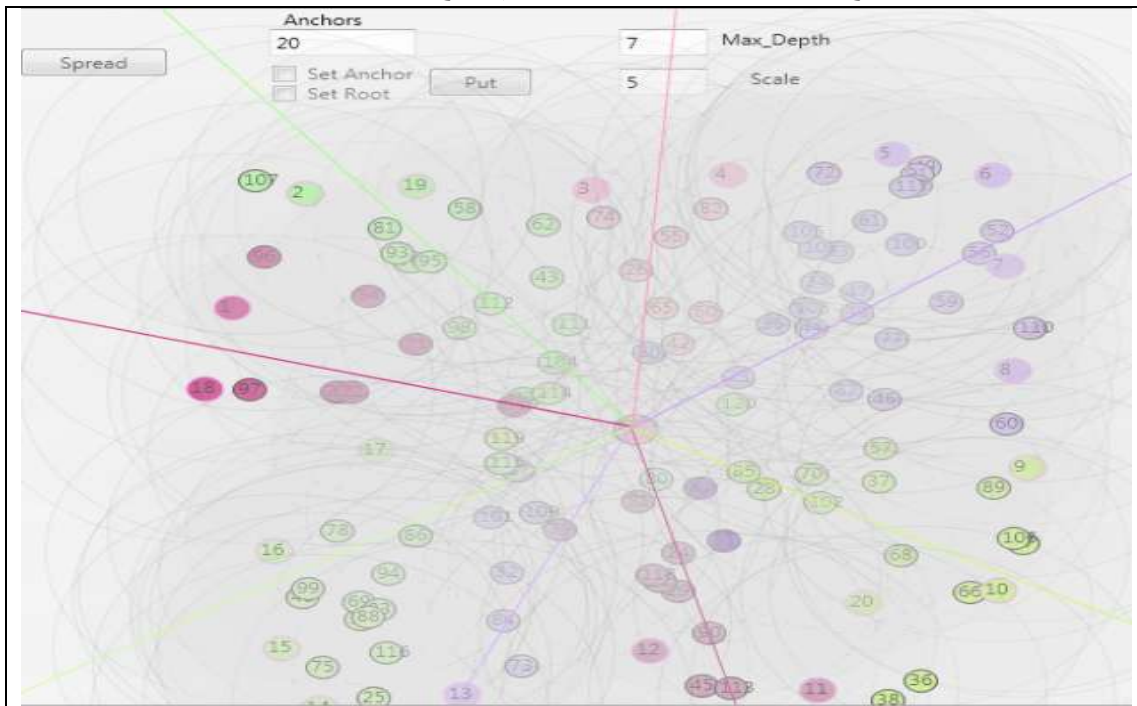
5 برنامج C++ لاختبار خوارزمية التموضع

تم التركيز عند تصميم البرنامج على انجاز العمليات التي تساهم بشكل أساسي في عملية تحديد الموضع وإهمال عمليات أخرى لا تؤثر بشكل كبير في عملية التحديد، حيث يمكن من خلال البرنامج محاكاة بناء الشبكة وتوزيع العناوين في المنطقة التي سيتم رمي الحساسات عشوائياً فيها، ودراسة تأثير مجال الإرسال وعدد الحساسات وعدد المرشحات على دقة تحديد الموضع في الشبكة وبالتالي اختيار عدد الحساسات الأنسب ومواضع المرشحات الأكثر ملائمة لتأمين دقة تحديد موضع مقبولة قبل البدء بعملية نشر الحساسات، وتؤمن واجهة البرنامج الخصائص الآتية: تحديد عدد الحساسات وتوزيعها عشوائياً ضمن منطقة الدراسة، تحديد مجال الإرسال والعمق الأعظمي في الشبكة، وضع المنسق والمرشحات بحرية في أماكنها المحددة من الشبكة، إظهار عملية تشكيل الشبكة وتوزيع العناوين وتشكيل الفروع، اختبار خوارزمية تحديد الموضع، ملف تتبع يسجل عمليات الإرسال والاستقبال والارتباط في الشبكة.

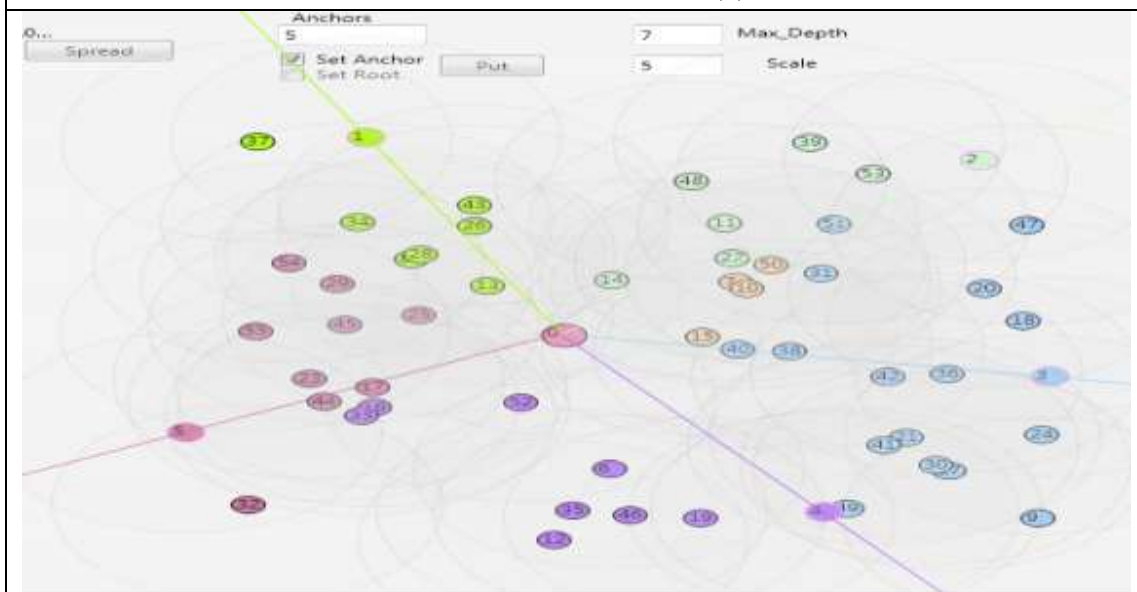
5.1 سيناريوهات اختبار الخوارزمية

إن دقة تحديد الموضع تتعلق بعوامل كثيرة منها عدد الحساسات المنشورة عشوائياً " في الشبكة، والأماكن العشوائية لتوزيع هذه الحساسات ومجال إرسالها، وكذلك تتعلق بعدد المرشحات وأماكن تموضعها. في البداية سنستعرض حالتين: حالة تكون فيها تغطية واتصالية الشبكة جيدة أي يكون كل حساس في الشبكة وكل بقعة من أرض الغابة ضمن نطاق التغطية المباشرة لأكثر من حساس، ويتواجد عدد مناسب من المرشحات في أماكن مناسبة كما في الشكل (4)، وحالة أخرى تكون فيها تغطية واتصالية الشبكة ضعيفة نتيجة نقص الحساسات أو توزيع عشوائي غير متجانس يؤدي إلى تجمع الحساسات في بعض الأماكن وخلو أماكن أخرى منها كما في الشكل (5).

في الحالة الأولى: تأمين اتصالية مناسبة للشبكة ونشر عدد مناسب بالقرب من منسق المجموعة أمر هام ليس فقط لتحسين دقة تحديد الموضع بل أيضا لعمل الشبكة حيث ستقوم جميع الحساسات بإرسال بياناتها باتجاه المنسق.



الشكل (4) اختبار الخوارزمية - اتصالية الشبكة جيدة



الشكل (5) اختبار الخوارزمية - اتصالية الشبكة ضعيفة

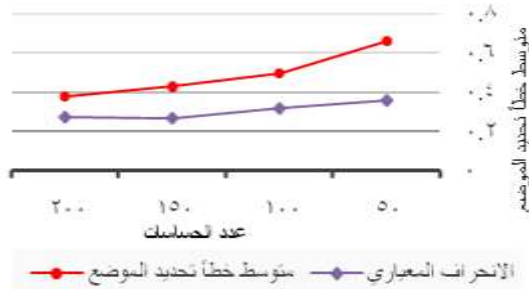
يبين الشكل (4) أشعة اتجاه العناوين وانتماء الحساسات إلى الفروع في أحد تكرارات اختبار تأثير دقة الموضع بعدد المرشحات والتي سنعرض نتائجها لاحقاً" عندما تكون نسبة المرشحات 20% من عدد الحساسات، نلاحظ تشكل 8 فروع للشبكة ولكل فرع مسافة وسطية خاصة به وأن جميع الحساسات نجحت في الحصول على موضع تقريبي.

الجدول (1) المسافة الوسطية للفروع المشكلة في الشبكة

رقم الفرع	المسافة الوسطية للفرع / متر	رقم الفرع	المسافة الوسطية للفرع / متر
5	12.0024.	11	12.2454.
8	13.1447.	12	11.8504.
9	15.85216.	13	13.533.
10	12.7586.	15	14.0692

من العلاقة (29) نجد أن متوسط خطأ التموضع $Avg_E = 0.34 * R = 0.33 * 25 = 8.5 m$ وبالتالي يتم تحقيق دقة مقبولة في عملية تحديد الموضع، والانحراف المعياري يساوي 0.229، وهو أيضا قيمة صغيرة تدل على أن دقة تحديد موضع معظم الحساسات قريبة من القيمة المتوسطة لخطأ تحديد الموضع في الشبكة. **في الحالة الثانية:** عندما تكون اتصالية الشبكة ضعيفة بسبب قلة عدد الحساسات أو التوزيع العشوائي غير المتجانس، تتوزع الفروع على مسافات متباعدة مما يقلل دقة تحديد الموضع. وقد تبقى بعض الحساسات خارج نطاق اتصال الشبكة، من الشكل (5) نجد تتشكل 5 فروع متباعدة للشبكة ولكل فرع مسافة وسطية خاصة به، ومتوسط خطأ التموضع كبير ويساوي 0.7758 من قيمة مجال الإرسال، والانحراف المعياري كبير أيضا " ويساوي 0.5. فيما يلي سنقوم بدراسة تأثير مجموعة من العوامل على دقة تحديد الموضع كي نتمكن من تحديد العدد المناسب من الحساسات والمرشادات عند مجال إرسال معين بحيث يحقق دقة تحديد موضع مقبولة قبل البدء بنشر الحساسات.

5.1.1 تأثير عدد الحساسات على دقة تحديد الموضع



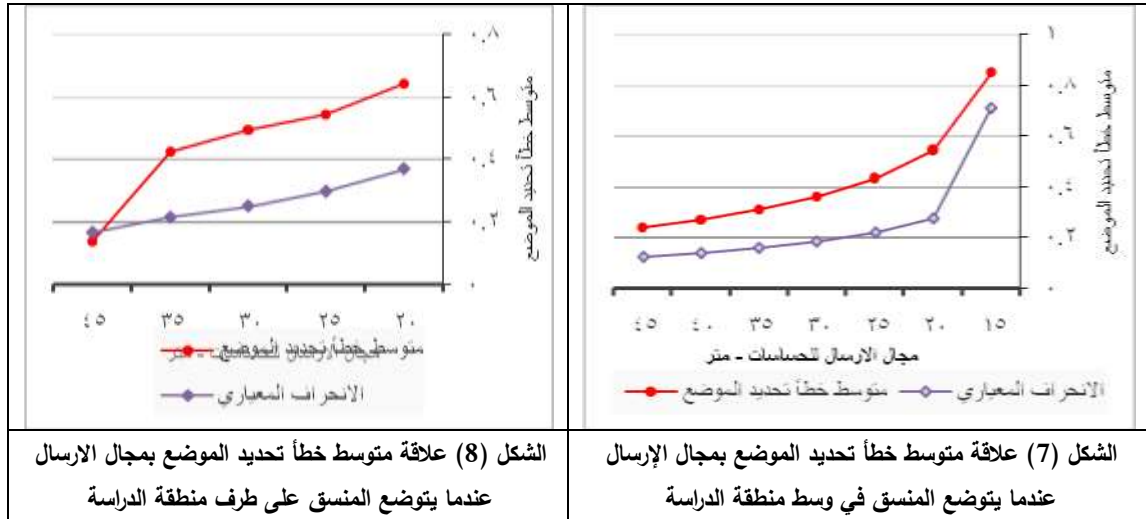
الشكل (6) علاقة متوسط خطأ تحديد الموضع بعدد الحساسات

عدد المرشادات 10 % من عدد الحساسات.
مجال الإرسال 25 متر.
يتوضع المنسق في وسط منطقة الدراسة.
تغيير عدد الحساسات من 50 وحتى 200.
تتيم تكرار اختبار كل قيمة 10 مرات لأخذ القيمة الوسطية.

نلاحظ تحسن دقة تحديد الموضع مع زيادة عدد الحساسات لأن زيادة عدد الحساسات يحسن الاتصالية في الشبكة وكلما كان التوزيع العشوائي للحساسات أكثر تجانسا كلما تحسنت دقة تحديد الموضع.

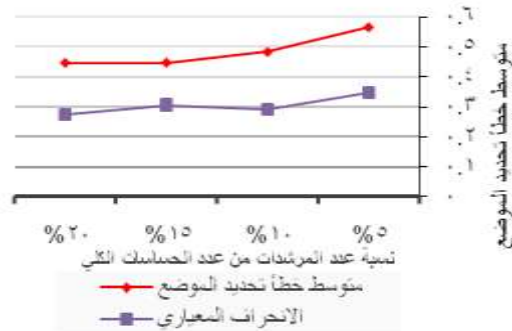
5.1.2 تأثير مجال الإرسال على دقة تحديد الموضع

عدد الحساسات 100، عدد المرشادات 10 % من عدد الحساسات، يتوضع المنسق في وسط منطقة الدراسة في الحالة الأولى وعلى أطراف منطقة الدراسة في الحالة الثانية، نغير مجال الإرسال من 15 وحتى 45 م.



نلاحظ أن خطأ تحديد الموضع مرتفع عندما يكون مجال الإرسال أقل من 20 م وهناك احتمال أن تبقى عدد من الحساسات دون أن تتمكن من الانضمام إلى الشبكة، وإن توضع المنسق وسط الشبكة يعطي دقة أعلى من توضع على طرف الشبكة، ونلاحظ أن الحصول على خطأ تحديد موضع صغير يتطلب أن يكون مجال إرسال الحساسات أكبر من 20 م لتحقيق دقة تموضع جيدة وعند زيادة مجال الإرسال تتحسن دقة القياس كنسبة من مجال الإرسال وتتحسن أيضا كقيمة مقاسه بالمتر وذلك بسبب أن زيادة مجال الإرسال يحسن الاتصالية في الشبكة. ويؤدي إلى وقوع حساسات إضافية بالقرب من المنسق ضمن نطاق تغطيته مما يزيد إمكانية تشكل فروع جديدة تساهم أيضا في تحسين دقة حساب الموضع.

5.1.3 تأثير عدد المرشحات على دقة تحديد الموضع



الشكل (9) علاقة خطأ تحديد الموضع بنسبة المرشحات

- مساحة الشبكة 10000 م².
- عدد الحساسات 100 حساس.
- مجال الإرسال 25 م.
- يتوضع المنسق في وسط منطقة الدراسة.
- يتم توزيع المرشحات على محيط منطقة الدراسة.
- يتم تغيير عدد المرشحات من 5% وحتى 20%، وسيتم تكرار اختبار كل قيمة 10 مرات لأخذ القيمة الوسطية.

النتائج

تتأثر عملية تحديد الموضع بشكل كبير بإمكانة توضع المرشحات. عند قياس المسافة الوسطية للفروع فإن المرشحات الأبعد عن المنسق تساهم في حساب مسافة وسطية أكثر دقة من المرشحات القريبة من المنسق.

زيادة نسبة عدد المرشحات من 5% إلى 10% يزيد دقة تحديد الموضع بشكل ملحوظ بسبب انتماء المرشحات إلى فروع قد لا تحوي مرشحات أو تحوي عدد قليل منها، لكن عندما نزيد عدد المرشحات إلى 15% ومن ثم إلى 20% يصبح تحسن دقة تحديد الموضع أقل بسبب تشكل العدد الكافي من الفروع في الشبكة. زيادة عدد الرسائل بزيادة عدد المرشحات ولكنها تبقى قليلة ولا تشكل عبئاً على الشبكة من ناحية الرسائل المرسله.

5.1.4 دراسة تأثير العقبات على خوارزمية تحديد الموضع:

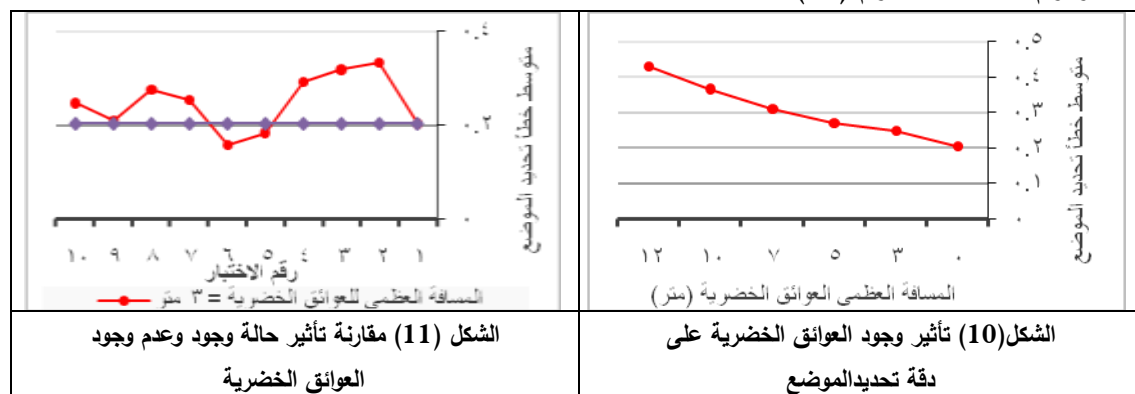
تم اعتماد نموذج انتشار الإشارة الكهرومغناطيسية العاملة في المجال 2.4 جيجا هرتز الموضح في المرجع [14] والذي يأخذ تأثير العوائق الناتجة عن البنية الخضرية للغابة بالحسبان، سيتم افتراضاًه نتيجةً للنشر العشوائي للحساسات ستختلف المسافة التي تتخللها العوائق الخضرية بين كل حساسين، وسنفترض وجود M_{Max} متر من العوائق الخضرية كحد أعظمي، وتتنوع العوائق بين الحساسات بسماكة عشوائية m تأخذ قيمها ضمن المجال $[0 - M_{Max}]$ متر، حيث تكون الخسارة 1.2 ديسيبيل لكل متر من العوائق الخضرية بحسب العلاقة رقم 3 من المرجع رقم [14]، وبسبب التوزيع العشوائي سيتم تكرار اختبار كل قيمة 10 مرات للحصول على متوسط خطأ تحديد الموضع الوسطي. حيث يتم استخدام العلاقات رقم (26) (27) لحساب الموضع التقريبي الحساسات في الشبكة.

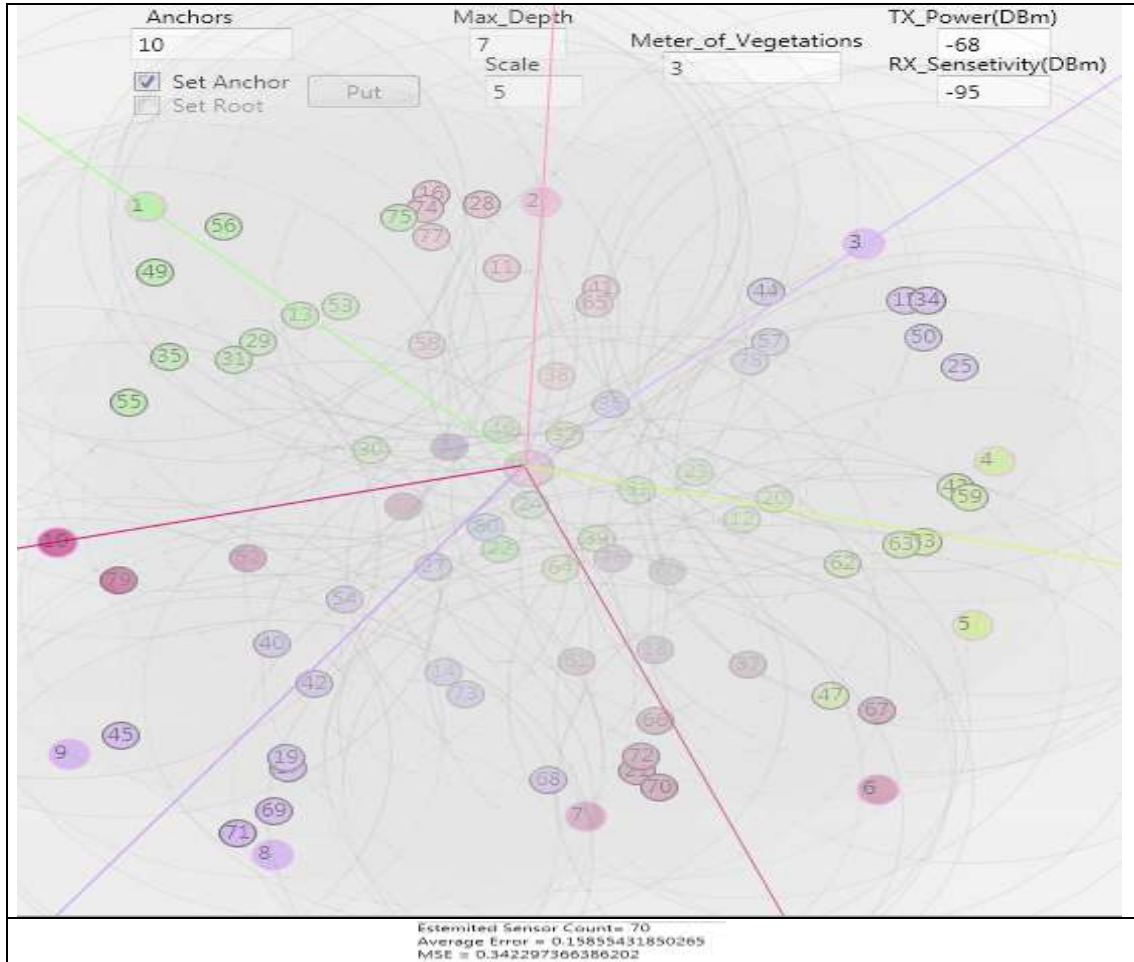
بارامترات العمل

1.2*m	خسارة البنية الخضرية	1 dB	ريخ هوائي الإرسال	-66.7 dBm	قدرة الإرسال
10	عدد المرشحات	1 dB	ريخ هوائي الاستقبال	-95 dBm	حساسية الاستقبال
70	عدد الحساسات	28 متر	مجال الإرسال	2.4 GH	المجال الترددي

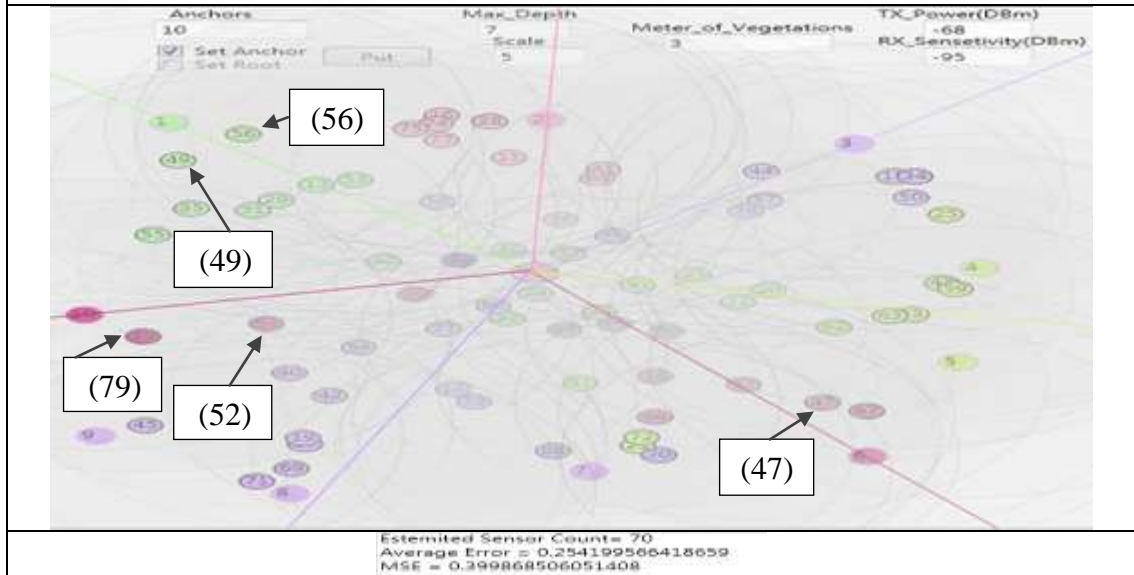
النتائج والمناقشة:

يبين الشكل (10) تأثير وجود العوائق الخضرية على دقة تحديد الموضع، ويبين الشكل (11) دقة تحديد الموضع عندما تكون المسافة العظمى للعوائق الخضرية بين كل حساسين تساوي 3 متر $M_{Max} = 3$ ، مقارنة بدقة تحديد الموضع عندما لا توجد عوائق بين الحساسات، حيث نلاحظ تأرجح قيمة خطأ تحديد الموضع حول القيمة الوسطية للخطأ 0.2482 الموضحة في الشكل (10)، وذلك نتيجة التوزيع العشوائي للعوائق الخضرية في كل اختبار من الاختبارات العشرة، ويبين الشكل (12) والشكل (13) تغيير ارتباطات بعض الحساسات وتوزيع الفروع للاختبار رقم 6 والاختبار رقم 7 من الشكل رقم (11).

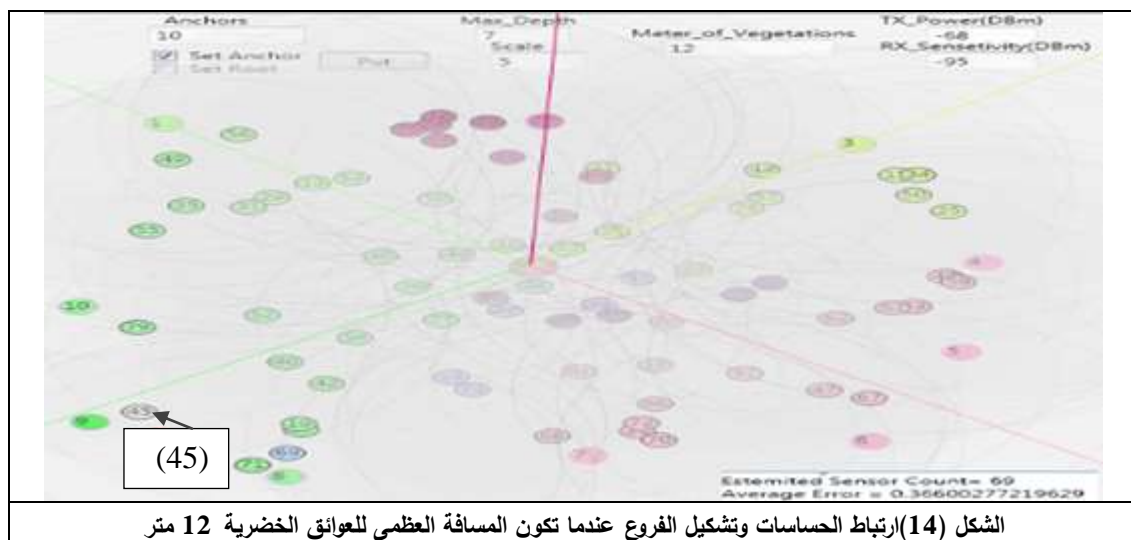




الشكل (12) ارتباط الحساسات وتشكيل الفروع في الاختبار رقم 6 من الشكل 11



الشكل (13) ارتباط الحساسات وتشكيل الفروع في الاختبار رقم 7 من الشكل 11



الشكل (14) ارتباط الحساسات وتشكيل الفروع عندما تكون المسافة العظمى للعوائق الخضرية 12 متر

من الأشكال السابقة نجد أن وجود العوائق يؤدي إلى تقليل دقة تحديد الموضع، ولكن بما أن تحديد الموضع لا يعتمد مباشرة على قياس شدة الإشارة فإنه إذا لم يؤثر وجود العوائق على عمليات الارتباط في الشبكة أو إذا لم تؤدي إلى تغيير في توزع الفروع فكل شيء يكون للعوائق تأثير كبير على دقة تحديد الموضع. وتختلف نتائج دقة تحديد الموضع في كل اختبار بحسب المسافة العظمى للعوائق بين الحساسات وبحسب التوزيع العشوائي لها حيث تؤدي إلى تقليل دقة حساب موضع بعض الحساسات وتحسن دقة حساب الموضع لحساسات أخرى بحسب أماكن تواجد هذه الحساسات، فوجود العقبات يضع الحساسات أمام الاحتمالات الآتية:

قد لا يؤثر وجود العقبات على ارتباط الحساس فيبقى الحساس مرتبطاً بالحساس الأب، ويحدث ذلك عندما تبقى الطاقة المستقبلية من الحساس الأب بوجود العوائق أعلى من الطاقة المستقبلية من الآباء الآخرين المحتملين أو عندما لا يتواجد إلا الحساس الأب، كحالة الحساسات رقم 56-49-52-79 في الشكل (12) (13).
قد يؤدي وجود العقبات إلى أن يفقد الحساس الارتباط مع الحساس الأب ومع الحساسات الأخرى، بسبب أن الطاقة المستقبلية أقل من طاقة التحسس، وتظهر هذه الحالة في الشبكة المدروسة عندما تتجاوز المسافة العظمى للعوائق الخضرية 10 متر، حيث لا تتمكن بعض الحساسات من الانضمام إلى الشبكة، كحالة الحساس رقم 45 في الشكل (14).

قد يؤدي وجود العقبات إلى ارتباط عدد من الحساسات بحساس أب آخر، وهذا الحساس أبعد ولكنه أقرب إلى الميل الوسطي للفرع الذي ينتمي إليه، وبالنتيجة تتحسن دقة تحديد الموضع الوسطية للحساسات في الشبكة، كما في الاختبار رقم 5-6 في الشكل رقم (11)، وفي الشكل رقم (13) يظهر تحسن دقة تحديد الموضع للحساس رقم 47 مقارنة بالشكل رقم (12) وذلك نتيجة لتغير ارتباطه في الشبكة.

قد يؤدي وجود العقبات إلى ارتباط الحساس بحساس أب آخر، وهذا الحساس أبعد عن الميل الوسطي للفرع الذي ينتمي إليه وبالتالي تقل دقة تحديد الموضع لهذا الحساس، وكمثال حالة الحساس رقم 25.

5.2 عدد الرسائل المتبادلة في الشبكة لتحديد الموضع

في المرحلة الأولى يتوجب على المرشد إرسال رسالة تتضمن معلومات موضعه إلى المنسق، وتقوم الحساسات ضمن مسار التحويل فقط بإيصال الرسالة وعدد هذه الحساسات كحد أقصى يحدد بالعمق الأعظم للشبكة ويكون: عدد

الرسائل المتبادلة = عدد المرشحات * العمق. في المرحلة الثانية بعد أن يقوم المنسق بحساب المسافة الوسطية والميل الوسطي لكل فرع فإن المنسق سيقوم بإرسال البيانات المساعدة على تحديد الموضع خلال الإرسال الدوري لإشارات الإرشاد إذا تم العمل في الوضع المتزامن وبالتالي ليست هنالك رسائل إضافية في هذه المرحلة. أما عند العمل في الوضع غير المتزامن فيكون عدد الرسائل كحد أقصى مساوياً إلى عدد الحساسات إذا اعتبرنا أن جميع الحساسات مكتملة الوظائف، وكمثال شبكة حساسات لاسلكية مستخدمة للكشف الحراري عن الحرائق، مساحتها $100 * 100$ م²، مجال الإرسال 25 متر، يتوزع فيها 100 حساس، ولنفرض العمق كحد أقصى / 5 باعتبار توضع المرشحات في العمق الأخير ونسبتها 10% من عدد الحساسات وبالتالي: عدد الرسائل المرسل = عدد الحساسات الكلي * نسبة المرشحات * العمق + عدد الحساسات = $100 * 0.1 * 5 + 100 = 150$ رسالة، وهو عدد قليل مقارنة بعدد الرسائل المرسل في خوارزمية DV-Hop [15] التي تعتمد على الإرسال الجماعي لموضع كل مرشد في الشبكة.

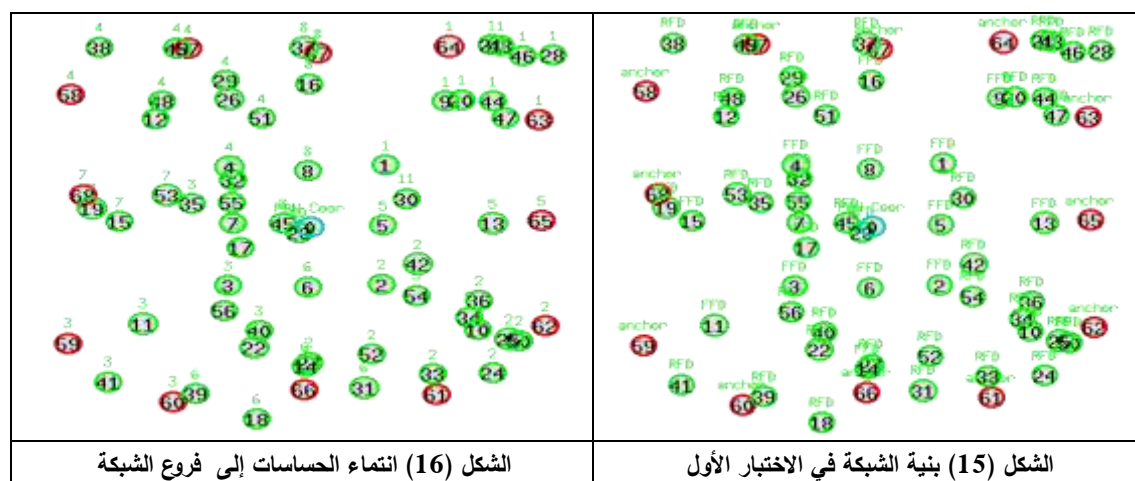
6 التأكد من عمل الخوارزمية باستخدام المحاكى Ns2

يعد المحاكى [16] NS2 من أهم محاكيات الشبكات مفتوحة المصدر التي تعتمد مفهوم الأحداث المتقطعة، يستخدم المحاكى بشكل كبير للأغراض التعليمية والبحثية لاحتوائه على عدد كبير من النماذج والبروتوكولات الشبكية، مع إمكانية التعديل والتطوير، لكن هذا الأمر يتطلب جهداً كبيراً كون المحاكى يعتمد على لغتي ++TCL. سنقوم باستخدام المحاكى NS2 من أجل اختبار الخوارزمية في شبكة حساسات لاسلكية مساحتها $100 * 100$ م²، تعمل بالوضع المتزامن وتحتوي على حساسات مكتملة الوظائف FFD تنتشر بشكل تقديري في مناطق معينة بحيث تؤمن اتصالية الشبكة، وحساسات أخرى تنتشر عشوائياً ضمن منطقة الدراسة، تكون منقوصة الوظائف RFD في الاختبار الأول ومكتملة الوظائف FFD في الاختبار الثاني، في كلا الاختبارين تم استخدام بروتوكول التحويل الهرمي من أجل تحويل البيانات في الشبكة بعد إصلاح عملية توزيع العناوين للحساسات. يبين الجدول التالي بارامترات العمل المستخدمة في الاختبارين

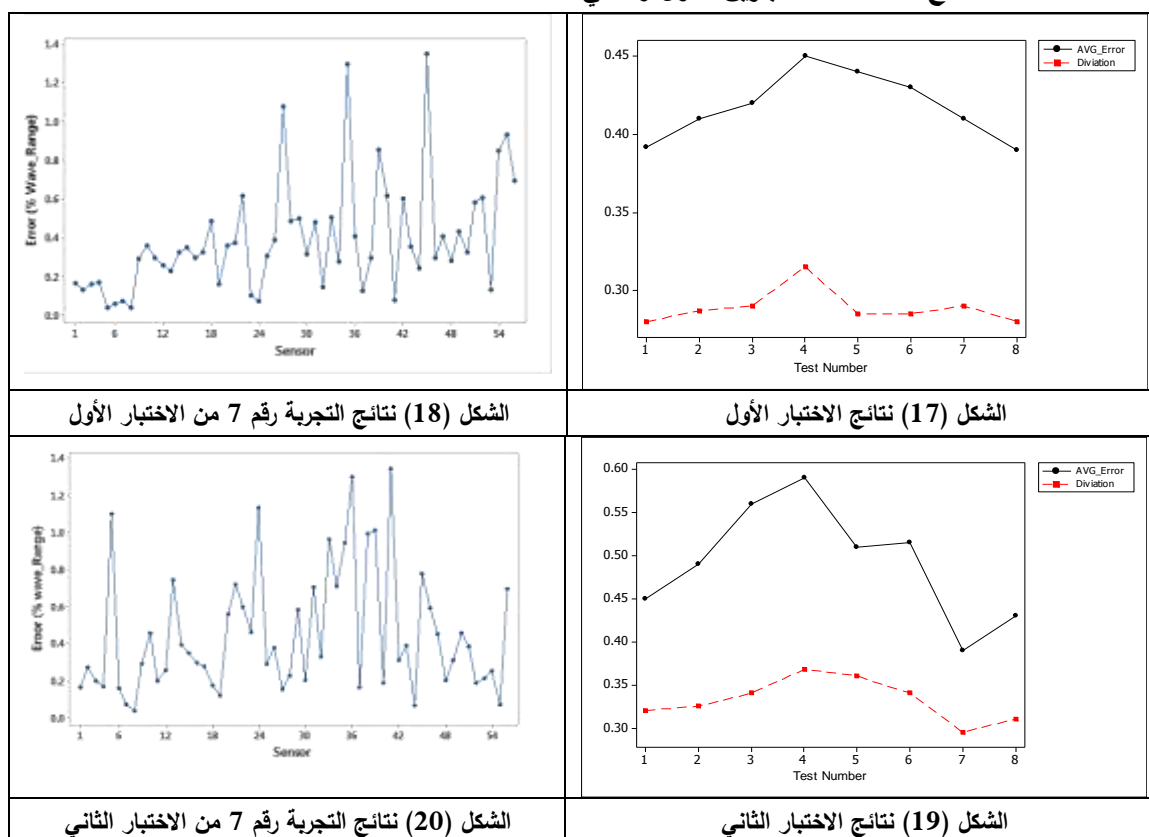
الجدول (2) بارامترات الاختبار

عدد الحساسات الكلي	70	عدد الحساسات منقوصة الوظائف	53
عدد الحساسات مكتملة الوظائف	17	مجال الإرسال	25 م
عدد المرشحات	12	ترتيب الإرشاد BO	8
العمق الأعظمي	3	ترتيب الإطار الفائق SO	8
عدد الأبناء	16	بروتوكول الولوج إلى وسط النقل	IEEE 802.15.4

ويبين الشكل (15) توزيع الحساسات في الشبكة ونوعها (حساسات مكتملة الوظائف FFD، حساسات منقوصة الوظائف RFD، مرشحات على أطراف منطقة الدراسة Anchor، منسق الشبكة في منتصف منطقة الدراسة)، ويمثل الرقم الموجود فوق الحساسات في الشكل (16) الفرع الذي ينتمي إليه كل حساس في الشبكة بعد اكتمال عملية توزيع العناوين.



6.1 نتائج المحاكاة للاختبارين الأول والثاني



نلاحظ من الشكل (17) و (19) أن: متوسط خطأ تحديد الموضع في الاختبار الثاني عندما تكون جميع

الحساسات مكتملة الوظائف أكبر منه في حال كان قسم من الحساسات مكتمل الوظائف والقسم الآخر منقوص الوظائف، حيث يبلغ متوسط الخطأ بالنسبة للتجارب في الاختبار الأول 0.41775 مع متوسط انحراف معياري مقداره 0.289، ومتوسط الخطأ بالنسبة للتجارب في الاختبار الثاني 0.491875 مع متوسط انحراف معياري 0.33225، والسبب أنه في الخوارزمية AV_MH كلما زاد عدد الفروع وكلما كانت أكثر تقارباً كلما تحسنت دقة تحديد الموضع، ويمكن تحقيق تقارب الفروع إذا جعلنا عملية ارتباط الحساس تتم دائماً "بالحساس الأب الذي يتلقى منه طاقة أعلى وذو العمق الأقل كما يتم في برنامج ++C، وفي المحاكى ns2 ترتبط الحساسات بالحساس الأب ذو العمق الأقل والذي تتمكن الحساسات من استقبال إشارات الإرشاد الصادرة عنه أثناء قيامها بعملية المسح، لكن يبقى هنالك احتمال لوجود

حساسات أب أخرى أقل عمقا" لم يتمكن الحساسات من إضافتها إلى قائمة الآباء المحتملين، كونها لمترسال إشارات إرشاد خلال فترة المسح، أو كونها لم تبدأ بالعمل بعد، وكون عدد الحساسات مكتملة الوظائف في الاختبار الأول قليلة فإن إمكانية تشتت الفروع أقل وبالنتيجة دقة تحديد الموضع تكون أفضل.

الاستنتاجات والتوصيات:

نلاحظ مما سبق أن الخوارزمية المقترحة تحتاج إلى عدد قليل من الرسائل المتبادلة لتحديد موضع الحساسات، وبما أن عملية إرسال واستقبال البيانات هي الأكثر كلفة من ناحية استهلاك الطاقة فإن تقليل عدد الرسائل اللازمة لتحديد الموضع يؤدي إلى توفير كبير في استهلاك الطاقة في الشبكة ، كما أن عملية حساب المسافة بين الحساسات في الخوارزمية لا تعتمد مباشرة على قياس شدة الإشارة التي تتأثر بشكل كبير بعوامل البيئة، وتعطي الخوارزمية موقع تقريبي مقبول بدون الحاجة إلى إضافة عتاد جديد.

تؤمن الخوارزمية المقترحة أيضا "سرعة في الحصول على الموضع، حيث يكفي أن تحصل الحساسات على ميل ومتوسط المسافة للفرع الذي ترتبط فيه كي تحدد موضعها مباشرة بعملية حسابية بسيطة، كذلك لا تتطلب الخوارزمية التحديث المستمر والمتكرر لقيمة المسافة الوسطية والميل للفروع حيث تتم عملية التحديث فقط عند إضافة مرشد جديد أو تغيير الفرع الذي ينتمي إليه المرشد مما يساعد في حفظ موارد الشبكة، ولا بد من الإشارة أيضا إلى أن استخدام العنونة الهرمية لا يفرض على الشبكة استخدام بروتوكولات التحويل الهرمية حصريا" بل تبقى إمكانية استخدام البروتوكولات المعشقة كبروتوكول AODV متاحة للعمل ضمن الشبكة.

مستقبلا" نتطلع إلى تعديل آلية الفحص والارتباط للحساسات في المحاكى NS2 بحيث يتم ارتباط الحساسات دوما" بالحساس الأب ذو العمق الأقل والذي تتلقى منه طاقة أعلمن أجل تحقيق تقارب فروع الشبكة وزيادة دقة تحديد الموضع للحساسات.

المراجع:

- 1 CHAN, Y. T; TSUI, W. Y; SO, H. C; CHING, P. C. *Time-of-arrival based localization under NLOS conditions*. Vehicular Technology, IEEE Transactions on, 2006, 55(1), 17-24.
- 2 D. NICULESCU AND B. Nat. *Ad Hoc Positioning System (APS) Using AoA*. Proceedings of the IEEE INFOCOM [C], New York, 2003, pp. 1734-1743.
- 3 BO, C; REN, D; TANG, S; LI, X. Y; MAO, X; HUANG, Q; LIU, Y. *Locating sensors in the forest: A case study in GreenOrbs*. In INFOCOM, 2012 Proceedings IEEE, 2012, (pp. 1026-1034).
- 4 SINGH, S. P; & SHARMA, S. C. *Range Free Localization Techniques in Wireless Sensor Networks: A Review*. Procedia Computer Science, 2015, 57, 7-16.
- 5 HAN, G; XU, H; DUONG, T. Q; JIANG, J; & HARA, T. *Localization algorithms of wireless sensor networks: a survey*. Telecommunication Systems, 52(4), 2013, 2419-2436.
- 6 CHEN, X; & ZHANG, B. *Improved DV-Hop node localization algorithm in wireless sensor networks*. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2012.

- 7 CHEN,H;SEZAKI,K;DENG,P;SO,H. *An improved DV-Hop localization algorithm with reduced node location error for wireless sensor networks*. IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, 91(8), 2008,2232-2236.
- 8 CHUENURAJIT, TH; SUROSO, D; CHERNTANOMWONG, P. *Implementation of RSSI-Based 3D Indoor Localization using Wireless Sensor Networks Based on ZigBee Standard*. Journal of Information Science and Technology, Vol 3, Issue 2,2012.
- 9 IEEE 802.15.4. Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), 2003.
- 10 KAUSHAL,K; KAUR,K; KAUR, J.*ZigBee based Wireless Sensor Networks*. International Journal of Computer Science and Information Technologies, Vol. 5 (6), 2014, 7752-7755.
- 11 XU, Y; QIU, SH; HOU, M.*Reconfigure ZigBee Network Based on System Design*. Wireless Sensor Network, 2009, 3, 206-211.
- 12 HONG, S; JUNG, W; KIM, D; KWON, Y; & JUNG, D. *IP-based Wireless Sensor Networks Infrastructure for Smart Highway*. 2008.
- 13 EE, G. K; NG, C. K; NOORDIN, N. K; & ALI, B. M. *A review of 6LoWPAN routing protocols*. Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network, 30, 2010,71-81.
- 14 LLORET, J; GARCIA, M; BRI, D; SENDRA, S. *A Wireless Sensor Network Deployment for Rural and Forest Fire Detection and Verification*. Sensors 2009, 9, 8722-8747.
- 15 LANGENDOEN, K; REIJERS, N. *Distributed localization in wireless sensor networks:a quantitative comparison*. Computer Networks 43,2003, 499–518.
- 16 The Network Simulator NS-2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns>. Accessed 1January 2016.