

تقييم أداء خوارزميات تحديد الموقع في شبكات الحساسات اللاسلكية

الدكتور طلال العاتكي*

إيهاب احمد**

(تاريخ الإيداع 18 / 6 / 2018. قُبِلَ للنشر في 12 / 11 / 2018)

□ ملخص □

تعد عملية تحديد موقع عقد الحساسات اللاسلكية المنتشرة في الوسط ضرورية من أجل التطبيقات التي تعد فيها المعلومات المتعلقة بموقع التحسس معلومات مهمة كتطبيقات الأمن والحماية وتتبع الأهداف وغيرها من التطبيقات. تصنف خوارزميات تحديد الموقع إلى نوعين: المعتمدة على المدى (Range-based) وغير المعتمدة على المدى (Range-free). ركزت الدراسة على الخوارزميات غير المعتمدة على المدى لأنها أقل كلفة من حيث متطلبات أجهزة العتاد الصلب المستخدمة.

استخدم الماتلاب في محاكاة الخوارزميات، حيثُ جرى تقييم أدائها في ظل تغيير عدد العقد الشبكية، عدد العقد المرجعية، إضافة الى مجال اتصال العقد بغية توضيح اختلافات الأداء من ناحية خطأ الموقع. أظهرت النتائج تفوق خوارزمية عدم الانتظام (Amorphous)، محققة دقة عالية في تحديد الموقع، وكلفة أقل بالنسبة الى عدد العقد المرجعية المطلوبة لتحقيق خطأ موقع صغير.

الكلمات المفتاحية: شبكات الحساسات اللاسلكية، خطأ الموقع، Amorphous، العقد المرجعية.

* مدرس - قسم النظم والشبكات الحاسوبية-كلية الهندسة المعلوماتية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية

** طالب دراسات عليا (ماجستير)، قسم النظم والشبكات الحاسوبية-كلية الهندسة المعلوماتية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية

Evaluation Performance Of Localization Algorithms in Wireless Sensor Networks

Dr. Talal Alatky*
Ehab Ahmad**

(Received 18 / 6 / 2018. Accepted 12 / 11 / 2018)

□ ABSTRACT □

The location of wireless sensor nodes located in the center is necessary for applications where information about the site is important information such as security, protection, object tracking and other applications.

localization algorithms are classified into two types: Range-based and Range-free. The study focused on Range-free localization algorithms because they are less expensive in terms of hardware requirements.

The MATLAB was used to simulate the algorithms, whose performance was evaluated by changing the number of network nodes, the number of Anchor nodes, and the contract area of communication in order to illustrate performance differences in terms of localization error.

The results showed the superiority of the amorphous algorithm, achieving high localization accuracy and lower cost for the number of Anchor nodes needed to achieve a small error.

Keywords: Wireless Sensor Networks, localization error, Amorphous, Anchor nodes

* Associate professor, , Department of System and Networks Computing, Faculty of Informatics Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Postgraduate student(Master) ,Department of System and Networks Computing, Faculty of Informatics Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة

تعرف شبكات الحساسات اللاسلكية بأنها مجموعة من العقد الذكية صغيرة الحجم قادرة على الاتصال مع بعضها، وفق خوارزميات ومسارات توجيه متعددة وديناميكية تسمح لها بالإدارة والتنظيم الذاتي مما يسمح بنشرها يدوياً أو عشوائياً. تعمل هذه العقد بما تتضمنه من حساسات على قياس بارامترات محددة من الوسط المحيط ومعالجتها ثم إرسالها إلى عقدة معالجة نهائية [1].

أدى الانتشار الواسع لشبكات الحساسات اللاسلكية في مجمل التطبيقات المدنية والعسكرية، إلى جعلها تأخذ اهتماماً كبيراً لدى الباحثين الذين سخرروا جهودهم لتوضيح أدق التفاصيل التصميمية والبحث عن أفضل الحلول لتطوير وتحسين هذه الشبكات.

تعد عملية تحديد موقع عقد الحساسات اللاسلكية هامةً في مختلف التطبيقات ولاسيما الأمن وتتبع الأهداف والتنبيه عن حرائق الغابات لأنه من الضروري تحديد مكان اشتعال الحريق. لا يمكن تشكيل المعلومات عن الموقع يدوياً في كل جهاز حساس خلال عملية النشر لأنه من الممكن أن يكون النشر عشوائياً تبعاً لطبيعة التطبيق. وكذلك لا يجدي وضع مستقبل نظام تحديد المواقع العالمي (Global Positioning System) عند كل عقدة، وذلك لقيود مادية، وأخرى متعلقة بالنشر وأخرى متعلقة بمحدودية طاقة عقدة الحساس [2].

تصنف خوارزميات تحديد الموقع إلى صنفين:

☒ خوارزميات معتمدة على المدى (Range-based): تحدد موقع العقد اعتماداً على قياس المسافة أو الزاوية بين عقد الحساسات ومن هذه الخوارزميات:

✓ فرق الوصول (Time Difference of Arrival)

✓ زاوية الوصول (Angle of Arrive)

✓ درجة قوة الإشارة (Receive Signal Strength Indicator)

✓ وقت الوصول (Time of Arrival)

☒ خوارزميات غير معتمدة على المدى (Range-free) تستخدم معلومات اتصال الشبكة

(network connectivity) كإحداثيات العقد المرجعية ومنها:

✓ النقطة الوسطى (Centroid)

✓ شعاع المسافة بالقفزات (Distance Vector-Hop)

✓ عدم الانتظام (Amorphous)

✓ النقطة التقريبية في التثليث (Approximate Point in Triangulation) (APIT)

✓ الصندوق المغلق (Bounding Box)

على الرغم من الدقة العالية التي تحققها الخوارزميات المعتمدة على المدى ، لكنها تعاني من الكلفة العالية نتيجة الحاجة إلى العتاد الصلب (Hardware) ، واستهلاك عالٍ للطاقة، إضافة إلى تأثيرها بعوامل الطبيعة نظراً لتداخل الاشارات وضعفها مع ازدياد المسافة [3]، لذلك سنتطرق في بحثنا إلى دراسة الخوارزميات غير المعتمدة على المدى.

أهمية البحث و أهدافه:

أصبح اكتشاف موقع العقدة مجال بحث هام مع ازدياد تطبيقات شبكات الحساسات اللاسلكية ، فتحديد الموقع الجغرافي لعقد الحساسات ليس مهماً فقط لتحديد الموقع بل أيضاً من أجل عمليات التوجيه، إضافة إلى الاتصالات والأغراض العسكرية وعمليات التعقب والصحة والطب وإدارة المرور.....الخ.

يهدف البحث المقدم الى اجراء مقارنة بين خوارزميات تحديد الموقع غير المعتمدة على المدى ، وتقييم أداء هذه الخوارزميات ومعرفة تأثيرها حسب بارامترات الشبكة المتغيرة وصولاً إلى أفضل أداء وأقل كلفة بما يتناسب مع قيود الكلفة والطاقة على العقد في شبكات الحساسات اللاسلكية.

طرائق البحث ومواده:

لتحقيق الأهداف المذكورة لا بدّ بدايةً من التعرف على خوارزميات تحديد الموقع غير المعتمدة على المدى، ومن ثمّ تقييم أدائها عن طريق المحاكاة باستخدام برنامج MATLAB وفقاً لمجموعةٍ من المعايير المُعتمدة في مثل هذا النوع من الأبحاث وهي عدد العقد المرجعية، مجال الاتصال، عدد العقد في الشبكة.

1- مفاهيم أساسية:

إنّ التعريف بالمفاهيم الأساسية المستخدمة في عملية تحديد الموقع ضروري من أجل الفهم الدقيق للخوارزميات.

1-1- العقد المرجعية (Anchor nodes)

هي عقد ذات موقع معلوم إما يدوياً أو عن طريق نظام تحديد المواقع العالمي حيث تقوم ببث عام لرسائل منارات (Beacons).

1-2 رسائل المنارات

هي رسائل مرسله من قبل العقد المرجعية تتضمن معلومات عنها مثل احداثيات الموقع والرقم التعريفي للعقدة.

1-3 عقد الحساس غير المعروفة (Uknown nodes)

هي عقد حساسات يتطلب تحديد موقعها.

2- خوارزميات تحديد الموقع ذو النطاق الحر (Range-free Localization Algorithms)

1-2 خوارزمية النقطة الوسطى (Centroid):

اقترحت من قبل العالمين John Heideman, Nirupama Bulusu [4]. تتميز الخوارزمية ببساطة التنفيذ، حيث يتم تقدير موقع عقد الحساس بشكل مركزي عن طريق إحداثيات العقد المرجعية وفق الخطوات التالية [5]:

أولاً: تقوم جميع العقد المرجعية ببث عام لمعلومات موقعها الى جميع الحساسات الموجودة في مجال تغطيتها وفق رسائل منارات، وفي هذه الأثناء تكون عقد الحساسات في مرحلة الاستماع لهذه الرسائل ليتم تجميعها.

ثانياً: يتم حساب موقع الحساس كمتوسط إحداثيات العقد المرجعية التي استقبلت منها المنارات وفق المعادلة الآتية [5]:

$$\begin{aligned} X_{es} &= (X_1 + X_2 + \dots + X_n) / n \\ Y_{es} &= (Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n) / n \end{aligned} \quad (1)$$

(Xest, Yest) إحداثيات عقدة الحساس المطلوب تحديد موقعها. (Y1, ..., Yn, X1, ..., Xn) إحداثيات العقد المرجعية، n عدد العقد المرجعية. تمتاز الخوارزمية بالبساطة وسهولة التنفيذ ولكن خطأ الموقع عال جداً ويعود ذلك إلى الصيغة المركزية في المعادلة (1) [6].

2-2 خوارزمية شعاع المسافة بالقفزات (Distance Vector-Hop):

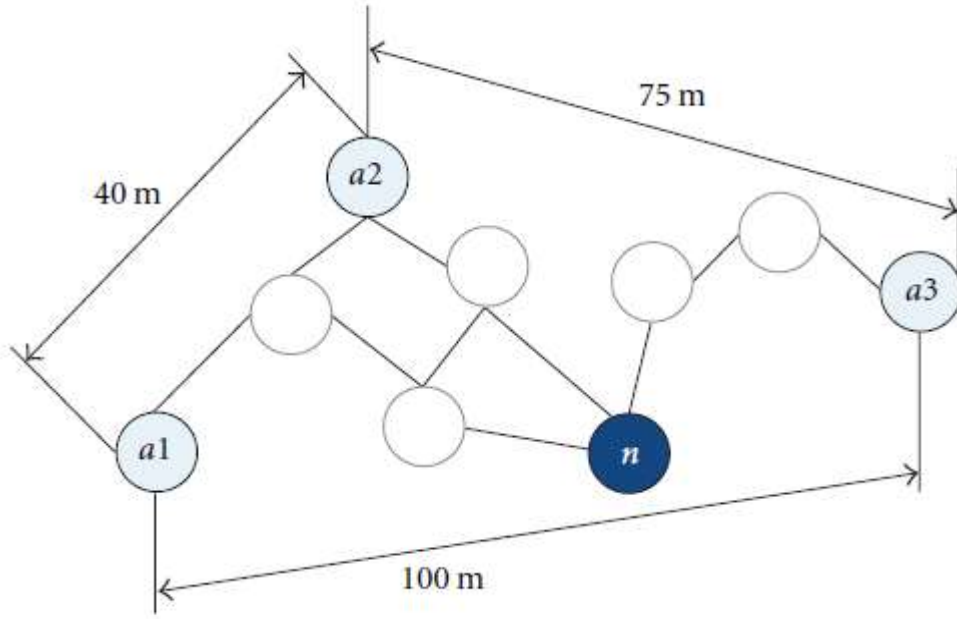
اقترحت هذه الخوارزمية من قبل العالمين Dragos Niculescu، Badri Nath [7]، حيث يتم في هذه التقنية حساب موقع الحساس اعتماداً على عدد القفزات الأصغر بينه وبين كل عقدة مرجعية ومن ثم متوسط طول القفزة الواحدة للحصول على المسافة ليتم بعدها تطبيق طريقة المربعات الصغرى وفق الخطوات الآتية [8]:

الخطوة الأولى: تقوم جميع العقد المرجعية ببث عام (broadcast) لرسائل المنارات ضمن الشبكة، متضمنة موقع العقدة المرجعية مع عدد قفزات مهياً بالواحد ليستخدم لاحقاً في حساب المسافة، حيث تعبر القفزة عن الوصول الى العقدة الجارة. كل عقدة مرجعية تستقبل هذه المنارات تحتفظ بها لحساب متوسط طول القفزة بينها وبين بقية العقد المرجعية، حيث يتم اختبار هذه الرسائل، فالمنارات التي تتجاوز حد معين (Hop-limit) يتم اعتبارها رسائل ليس لها قيمة، أما بقية الرسائل فيتم إعادة تمريرها (Forward) إلى بقية العقد الجيران بعد زيادة عدد القفزات بمقدار واحد، وفي حال استقبلت العقدة أكثر من منارة من العقدة المرجعية ذاتها سوف يتم اختيار الرسالة التي تحقق أصغر عدد من القفزات وتقوم بتخزين المعلومات لديها.

الخطوة الثانية: تقوم كل عقدة مرجعية بحساب متوسط طول القفزة (HopSize) بينها وبين بقية العقد المرجعية الأخرى وفق المعادلة الآتية [8]:

$$\text{HopSize}_i = \frac{\sum_{j \neq i} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{j \neq i} h_{ij}} \quad (2)$$

حيث: (x_i, y_i) إحداثيات العقدة المرجعية (i)، (x_j, y_j) إحداثيات العقدة المرجعية (j)، h_{ij} عدد القفزات بين العقدة المرجعية (i) والعقدة المرجعية (j). يوجد في الشكل (1) [9] ثلاثة عقد مرجعية a_1, a_2, a_3 وعقدة حساس مطلوب تحديد موقعها n والمسافة من a_1 الى a_2 هي 40m بينما من a_2 الى a_3 هي 75m أما المسافة من a_1 الى a_3 هي 100m وبالنسبة الى عدد القفزات فمن a_1 الى a_2 هو 2 بينما a_1 الى a_3 هو 6 أما بالنسبة من a_2 الى a_3 فهو 5 [9].



الشكل (1) مثال DV-Hop

يتم حساب متوسط طول القفزة من قبل كل عقدة مرجعية

$$\text{HopSize}(a1) = (100+40)/(6+2) = 17.5 \text{ m}$$

$$\text{HopSize}(a2) = (75+40)/(5+2) = 16.42 \text{ m}$$

$$\text{HopSize}(a3) = (75+100)/(6+5) = 15.91 \text{ m}$$

بعد أن يحسب متوسط طول القفزة ينشر عبر الشبكة وفق آلية الغمر (Flooding)، حيث تقوم العقد المستقبلية بنشرها إلى العقد الجيران وبهذه الطريقة جميع العقد في الشبكة تحصل على أصغر عدد من القفزات إلى كل عقدة مرجعية بما فيها عقد الحساس المطلوب تحديد موقعها.

الخطوة الثالثة: تقوم عقدة الحساس بحساب المسافة (Distance) بينها وبين بقية العقد المرجعية اعتماداً على متوسط طول القفزة التي استقبلته أولاً وعدد القفزات (HopCount) المخزن لديها وفق المعادلة الآتية [10]:

$$\text{Distance} = \text{HopSize} * \text{HopCount} \quad (3)$$

في المثال السابق بالنسبة لعقدة الحساس n فإن أول متوسط طول القفزة تكون من قبل a2 وبالتالي تحسب المسافة من العقدة المرجعية إلى العقدة n بضرب عدد القفزات بمتوسط طول القفزة وفق الشكل التالي:

$$n-a1 = 3 * 15.91 = 47.73$$

$$n-a2 = 2 * 15.91 = 31.82$$

$$n-a3 = 3 * 15.91 = 47.73$$

ومن ثم نستخدم طريقة المربعات الصغرى (Least Squares Method) في تقدير موقع عقد الحساس [9] وفق مايلي، بفرض إحداثيات عقدة الحساس، (x, y) إحداثيات موقع العقد المرجعية، (x_i, y_i) المسافة من العقدة المرجعية إلى عقدة الحساس، $(i=1, \dots, n, j=1, \dots, n)$ عدد العقد المرجعية وفق المعادلات الآتية [8].

$$(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 = d_1^2 \quad (4)$$

$$(x_n - x)^2 + (y_n - y)^2 = d_n^2$$

$$A = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_n) & 2(y_1 - y_n) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_{n-1} - x_n) & 2(y_{n-1} - y_n) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$b = \begin{bmatrix} x_1^2 - x_n^2 + y_1^2 - y_n^2 + d_n^2 - d_1^2 \\ \vdots \\ x_{n-1}^2 - x_n^2 + y_{n-1}^2 - y_n^2 + d_n^2 - d_{n-1}^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$X = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (7)$$

فيكون موقع عقدة الحساس وفق العلاقة التالية:

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

3-2 خوارزمية عدم الانتظام (Amorphous):

اقترحت هذه الخوارزمية من قبل العالم Radhika Nagpal، حيث أتت الفكرة من الأنظمة الموزعة التي لديها معرفة كاملة بطبولوجيا الشبكة والمواقع الجغرافية. تتصل كل عقدة مع بقية العقد في دائرة نصف قطرها r حيث r يعد صغيراً جداً مقارنة بحجم الشبكة [9]. تفترض هذه الخوارزمية أن متوسط اتصال الشبكة معلوم وهذا ما يميزها عن الخوارزمية السابقة [4]. يتم تحديد الموقع وفق الخطوات الآتية: [11]

أولاً: حساب أصغر قفزة من عقدة الحساس إلى كل عقدة مرجعية:

تقوم كل عقدة مرجعية بإرسال رسائل منارات متضمنة معلومات موقعها ومجال الاتصال والرقم التعريفي إلى عقد الحساسات بطريقة الغمر (Flooding)، ويقوم كل حساس بحساب أصغر قفزة إلى كل عقدة مرجعية استقبل منها المنارات وفق المعادلة (9) [11] التي يطرح منها 0.5 لتعويض الخطأ الناتج عن الدقة المنخفضة. [12]

$$S_{(i,k)} = \frac{\sum_{j \in nbrs(i)} h_{(j,k)} + h_{(i,k)}}{|nbrs(i)| + 1} - 0.5 \quad (9)$$

$S_{(i,k)}$ - أصغر قفزة من عقدة الحساس (i) إلى العقدة المرجعية (k)، $(i=1, \dots, n, j=1, \dots, n, k=1, \dots, n)$

$h_{(i,k)}$ - عدد القفزات من عقدة الحساس (i) إلى العقدة المرجعية (k).

$h_{(j,k)}$ - عدد القفزات من عقدة الحساس (i) إلى العقدة المرجعية (k)

$nbrs(i)$ - عدد العقد الجارة الموجودة ضمن مجال الاتصال لعقدة الحساس (i)

■ يتم معرفة عدد الجيران من خلال جدول، حيث تقوم العقدة المستقبلة لرسائل الموقع بالاحتفاظ بالرقم التعريفي

لكل عقدة مرسل (Sender ID). [9]

ثانياً: حساب المسافة من عقدة الحساس الى العقدة المرجعية:

يتم في البداية حساب متوسط طول القفزة وفق معادلة Kelinrock and Silvester [11]:

$$\text{HopSize} = r(1 + e^{-n_{local}} - \int_{-1}^1 e^{-\left(\frac{n_{local}}{\pi}\right)(\arccos t - t\sqrt{1-t^2})} dt \quad (10)$$

r: مجال اتصال العقدة، nlocal متوسط اتصال الشبكة، وتحسب المسافة من عقدة الحساس الى العقدة المرجعية وفق المعادلة (11) [11]:

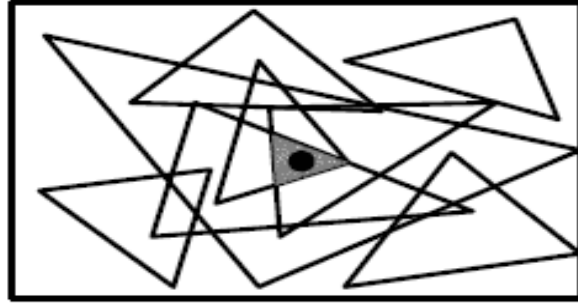
$$\text{Distance} = \text{HopSize} * S(i, k) \quad (11)$$

ثالثاً: حساب احداثيات موقع الحساس وفق طريقة المربعات الصغرى:

يتم تطبيق طريقة المربعات الصغرى المذكورة سابقا في خوارزمية شعاع المسافة بالقفزات لحساب موقع الحساس.

2-4 خوارزمية النقطة التقريبية في التثليث (APIT) Approximate Point in Triangulation:

تم اقتراحها من قبل He Huang, Blum Stankovic، حيث النهج الأساسي لهذه الخوارزمية في تحديد موقع عقدة الحساس هو تشكيل مثلثات من العقد المرجعية ويكون مركز المنطقة الناتجة عن تقاطع المثلثات المتداخلة هو موقع عقدة الحساس كما هو واضح في الشكل (2) [13]



الشكل (2) خوارزمية APIT

تتلخص خطوات الخوارزمية وفق أربعة خطوات [12]:

الخطوة الأولى: تبادل المنارة (Beacon exchange):

تقوم عقدة الحساس بجمع معلومات العقد المرجعية الموجودة ضمن مجال اتصالها، والتي تتضمن (الموقع _درجة قوة

الإشارة _الرقم التعريفي (ID)) كما هو واضح في الجدول (1) [12]

الجدول (1) معلومات العقد المرجعية

	(X,Y)	SS
A	20 20	1mv
B	45 31	2mv
C	23 56	3mv

Node M

	(X,Y)	SS
A	20 20	2mv
B	45 31	3mv
C	23 56	1mv

Node 1

كل عقدة تتبادل معلومات العقد المرجعية مع جيرانها كما هو واضح في الجدول (2) [12]

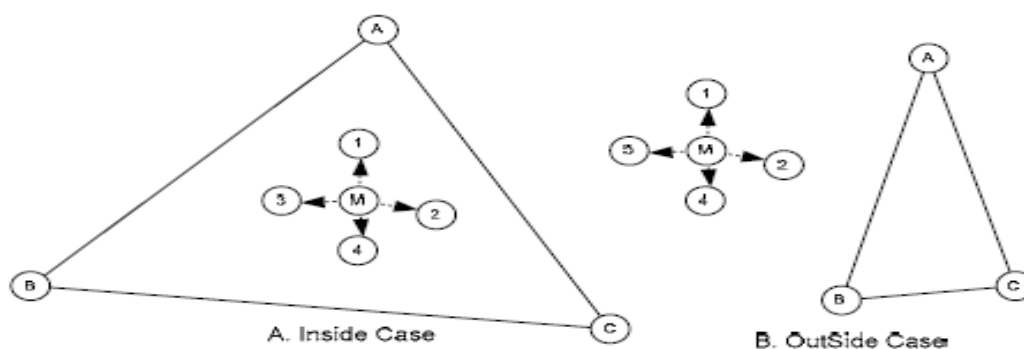
الجدول (2) تبادل معلومات العقد المرجعية مع الجيران

	(X,Y)	MySS	SS1	SSn
A	20 20	1mv	2mv		6mv
B	45 31	2mv	3mv		7mv
C	23 56	3mv	1mv		7mv

الخطوة الثانية: مرحلة تنفيذ اختبار النقطة (Point In Test):

تقوم عقدة الحساس باختبار ثلاث عقد مرجعية، وتختبر فيما إذا كانت ضمن هذه النقاط الثلاث التي تشكل مثلث وفق الفرضية الآتية:

إذا لم يكن هناك جار للعقدة M بعيد عن/قريب من العقد الثلاث A,B,C في نفس الوقت عندها تكون M داخل المثلث والا M خارج المثلث كما هو واضح في الشكل (3)[13]، حيث يتم تكرار الاختبار الى ان تنتهي المجموعات المشكلة من العقد المرجعية مع العلم أن اختيار العقد المرجعية الثلاث يتم بشكل عشوائي.



الشكل (3) حالات اختبار النقطة التقريبي

الخطوة الثالثة تجميع APIT:

يتم في هذه الخطوة حساب منطقة التداخل الناتجة عن تقاطع المثلثات في الخطوة السابقة والتي تحتوي عقدة الحساس كما هو واضح في الشكل (4)[13]، حيث يتم استخدام خوارزمية المسح الشبكي (Grid SCAN Algorithm) التي تضع مصفوفة من النقاط الشبكية يتم تهيئتها بالقيمة صفر، حيث تمثل النقاط الشبكية العقد وفق اختبار النقطة التقريبي يتم زيادة القيمة بمقدار واحد لكل نقطة تقع داخل المثلث أما النقطة التي تقع خارج المثلث فيتم إنقاص القيمة بمقدار واحد وهكذا تكون منطقة التداخل هي المنطقة التي يكون لها أعلى قيمة.

0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	1	0	1	1	1	0	0	0
0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
0	1	2	2	1	1	0	-1	0	0
1	1	2	2	1	1	0	-1	-1	0
0	0	2	2	2	1	0	-1	-1	-1
0	0	1	1	1	0	0	-1	-1	-1

الشكل (4) مرحلة المسح الشبكي

الخطوة الرابعة: حساب إحداثيات الموقع:

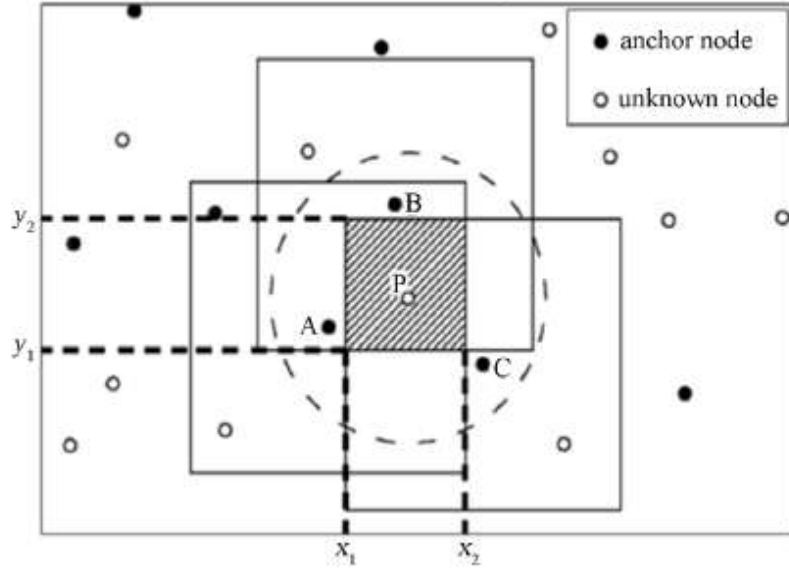
يتم حساب موقع عقدة الحساس بحساب مركز المنطقة المتداخلة الناتجة عن الخطوة السابقة.

2-5 خوارزمية الصندوق المغلق (Bounding Box):

ان خوارزمية الصندوق المغلق الموضحة في الشكل (5) بسيطة وذات حساب أقل في تحديد الموقع، حيث دقة هذه الطريقة محدودة ولكنها سهلة التنفيذ [14]. الفكرة الرئيسية لهذه الخوارزمية تكمن في إنشاء صناديق على شكل مربعات حول مجال نقل العقد وتكون عقدة الحساس متوضعة في منتصف منطقة التقاطعات الناتجة عن المربعات [6]. نلاحظ في الشكل (7) [6] ثلاث عقد مرجعية A,B,C تشكل مراكز المربعات، حيث ينتج عن تقاطعها منطقة مستطيلة الشكل نصف قطرها r ، وتتوضع فيها عقدة الحساس في المنتصف وفق النقطة P. يتم حساب إحداثيات منطقة التقاطع وفق المعادلة (12) [6]:

$$\begin{aligned} y1 & \max y_i - r \\ y2 & \min y_i + r \\ x1 & \max x_i - r \\ x1 & \min x_i + r \end{aligned} \quad (12)$$

حيث (x_i, y_i) إحداثيات العقد المرجعية، r مجال اتصال العقد المرجعية



الشكل (5) خوارزمية الصندوق المغلق

3-تهيئة بيئة الهدف لإجراء عملية التقييم

لتقييم أداء الخوارزميات التي ذكرناها سابقاً، تم استخدام MATLAB 2014 على لابتوب نظام ويندوز 7 وفق توزيع عشوائي للعقد كما يبين الجدول (3) [6]، حيث تم نشر العقد في منطقة مربعة الشكل أبعادها (100*100 m2) ومجال اتصال العقد المرجعية وعقد الحساس نفسه.

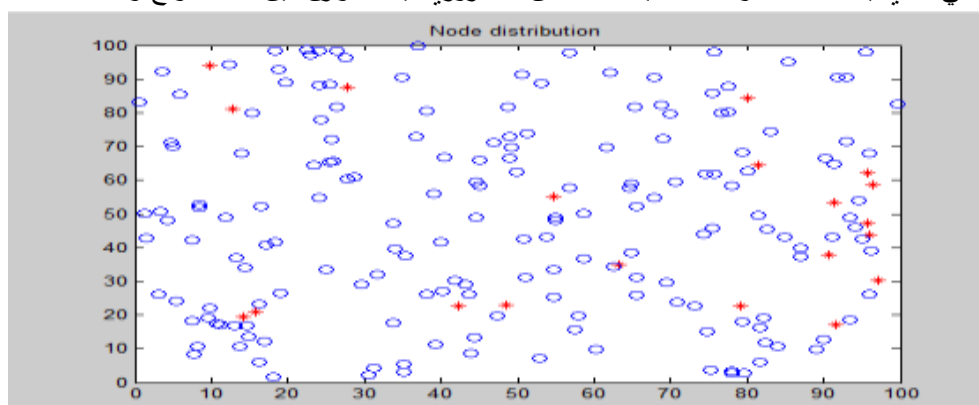
الجدول (3) بارامترات المحاكاة

البارامتر	القيمة
توزيع العقد	عشوائي
مساحة المنطقة	100*100 m2
عدد العقد الكلي	200
عدد العقد المرجعية	20
مجال الاتصال	20 M
عدد مرات تنفيذ التجربة	100

يولد موقع العقد بشكل عشوائي كما هو واضح في الشكل (6) حيث تمثل الدوائر O عقد الحساسات بينما * تمثل العقد المرجعية. المعيار المستخدم في تقييم الخوارزميات هو متوسط خطأ الموقع (Localization error) الذي يعرف بأنه نسبة المسافة الاقليدية الى مجال الاتصال من الموقع المقدر الى الموقع الحقيقي وفق المعادلة (13) [10].

$$\text{Localization error} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N \frac{\sqrt{(Xu - Xue)^2 + (Yu - Yue)^2}}{R} \quad (13)$$

يعد خطأ الموقع معياراً هاماً في تحديد دقة الخوارزمية المستخدمة، كلما كان خطأ الموقع صغيراً، كانت الخوارزمية أكثر دقة. في المعادلة (13) (Xu, Yu) احداثيات موقع عقد الحساسات الحقيقية، (Xue, Yue) احداثيات الموقع المقدر لعقد الحساسات، R مجال اتصال العقد، N عدد عقد الحساسات التي تم تحديدها. التوزيع العشوائي للعقد يعكس صورة أكثر واقعية لذلك درسناه في بحثنا، لكنه يعطي نتائج غير دقيقة لموقع عقد الحساسات، لذلك قمنا بتنفيذ الخوارزميات 100 مرة تحت شروط مختلفة للدقة في النتائج. تلعب العقد المرجعية دوراً أساسياً في عملية تحديد الموقع، إذ تعتمد عليها جميع الخوارزميات، ولكن العقد المرجعية بحد ذاتها مكلفة لأن تحديد موقعها عن طريق نظام تحديد المواقع العالمي الذي يتطلب طاقة عالية، لذلك من الضروري إيجاد توازن بين دقة الموقع وعدد العقد المرجعية.

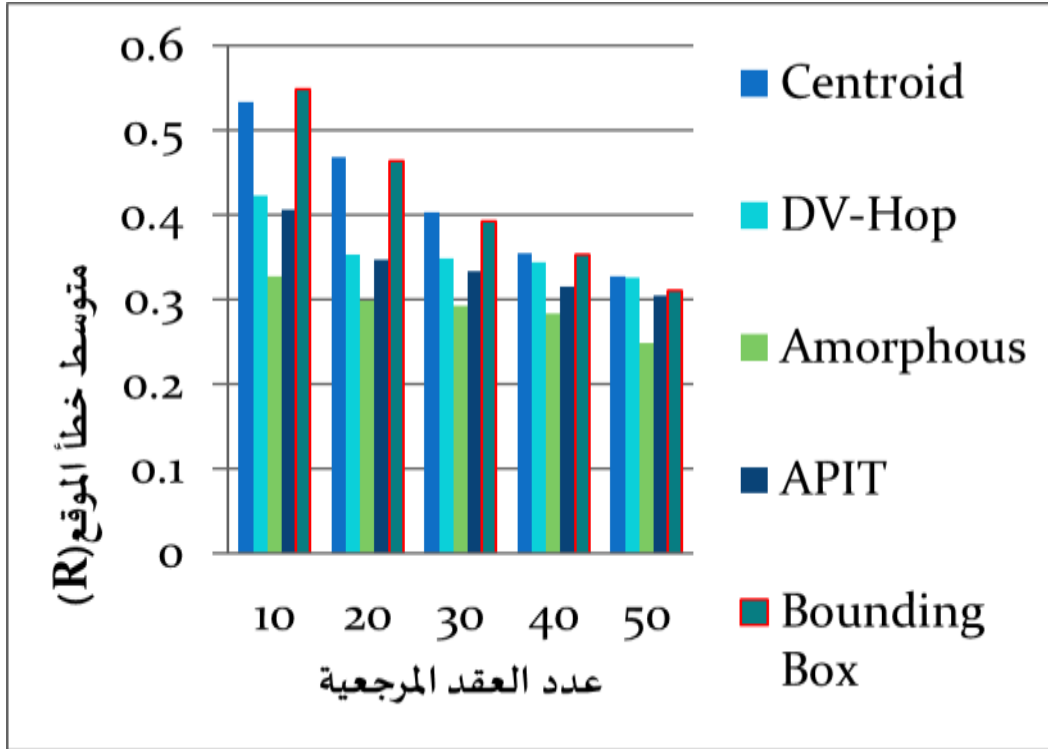


الشكل (6) توزيع العقد

النتائج و المناقشة

1 عدد العقد المرجعية:

إن زيادة العقد المرجعية ينتج عنها مسافة أقرب الى الواقع بين الحساس وبقيّة العقد، حيث تمتاز العقد المرجعية بدقة موقعها. كما هو واضح في الشكل (7)، زيادة عدد العقد المرجعية يؤدي الى انخفاض في متوسط خطأ الموقع بالنسبة لجميع الخوارزميات بنسب متفاوتة، فخوارزمية النقطة الوسطى، نلاحظ انخفاض واضح في خطأ الموقع، والسبب الاعتماد بشكل رئيسي على العقد المرجعية في حساب موقع الحساس، بينما خوارزميتي شعاع المسافة بالقفزات وعدم الانتظام، فنلاحظ انخفاضاً نسبياً نتيجة عمليات حساب متوسط طول القفزة الواحدة، أما خوارزمية النقطة التقريبية في المثلث، زيادة العقد المرجعية يؤدي الى زيادة عدد المثلثات المتداخلة وبالتالي صغر منطقة التقاطعات التي تضم الحساس لينخفض خطأ الموقع، وبالنسبة الى خوارزمية الصندوق المغلق ينتج عن زيادة العقد المرجعية زيادة عدد المربعات المتداخلة ومنطقة التداخل تصبح أصغر ليصبح موقع الحساس أكثر دقة.

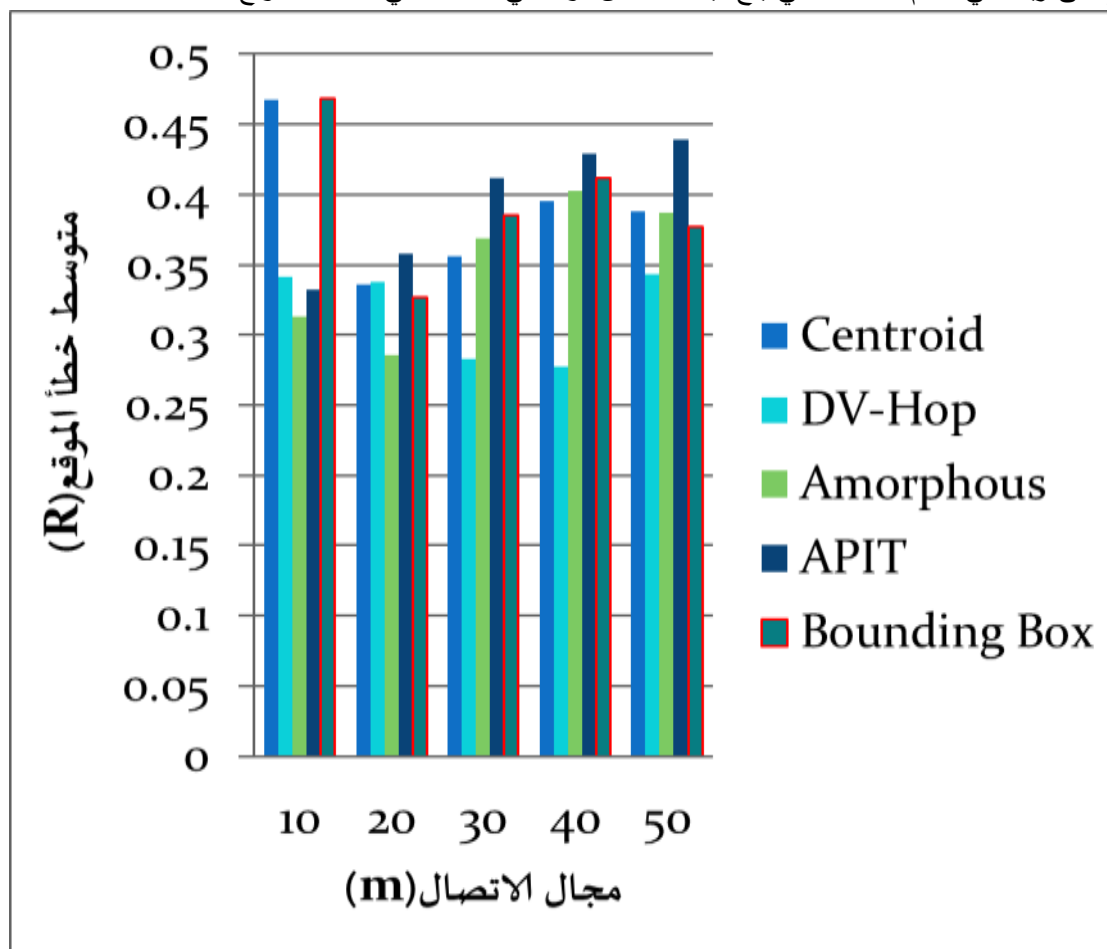


الشكل (7) العلاقة بين خطأ الموقع والعقد المرجعية

2 مجال الاتصال:

تعني زيادة مجال الاتصال أن لدى الحساس عقد مرجعية على مسافة أكبر، لذا تتراكم الأخطاء مسببة زيادة في خطأ الموقع. كما هو واضح في الشكل (8)، تتأثر جميع الخوارزميات بزيادة مجال الاتصال، لكن خوارزمية النقطة التقريبية في المثلث الأكثر تأثراً، والسبب حالات الخطأ التي تحدث في اختبار النقطة التقريبية، إضافة الى تراكم خطأ الضجيج (noise error) الناتج عن نشر العقد المرجعية على مسافة كبيرة. في خوارزمية شعاع المسافة بالقفزات وخوارزمية عدم الانتظام يلعب مجال الاتصال دوراً أساسياً في حساب متوسط طول القفزة لذلك زيادة مجال الاتصال

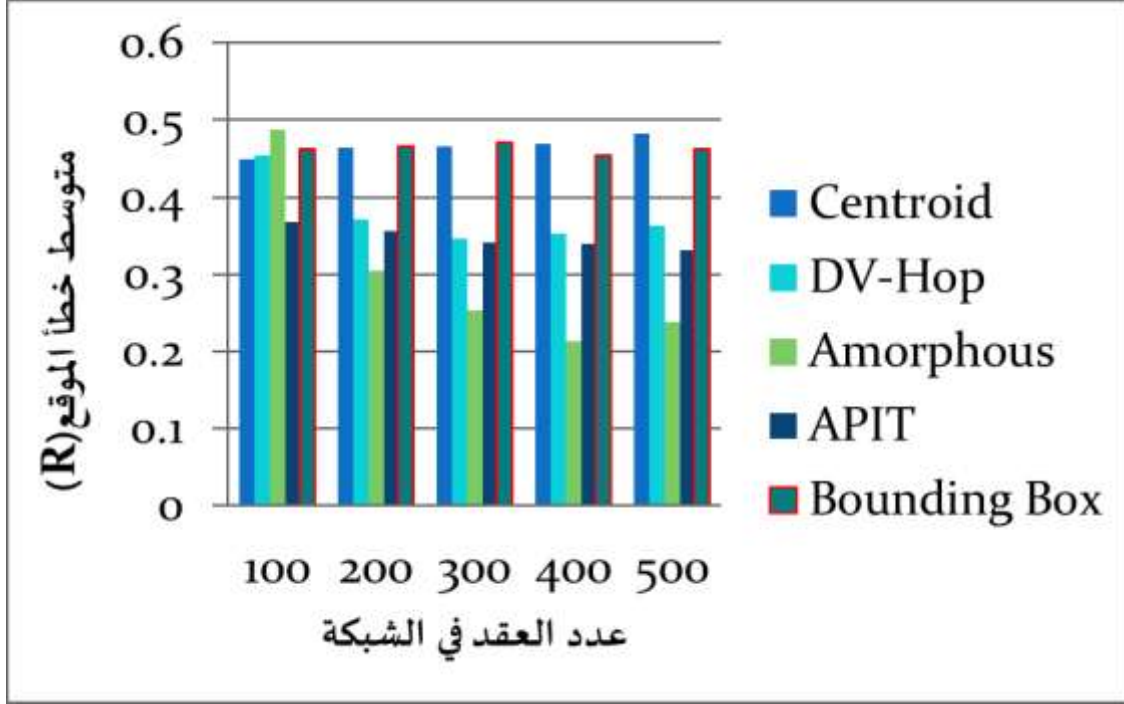
تعني زيادة في متوسط طول القفزة الواحدة ومسافة أقل دقة، أما في خوارزمية الصندوق المغلق، زيادة مجال الاتصال تؤدي الى زيادة في حجم المنطقة التي يقع فيها الحساس، وبالتالي أقل دقة في حساب الموقع.



الشكل (8) العلاقة بين خطأ الموقع ومجال الاتصال

3 عدد العقد في الشبكة:

كما هو واضح في الشكل (9) تؤدي زيادة عدد العقد في الشبكة الى زيادة كثافة عقدة الحساس بمعنى يكون لديه جيران أكثر، لذا يزداد اتصال الشبكة (network connectivity)، ويحصل الحساس على تنبؤ أكثر بالمسافة وتصبح أقرب الى المسافة الحقيقية، ينتج عنها انخفاض في خطأ الموقع، ولكن هذا الكلام لا ينطبق على خوارزميات النقطة الوسطى والصندوق المغلق، فتصميم الخوارزميتين بسيط ولا يعتمد على عدد العقد في الشبكة لذلك نلاحظ عدم تأثرهما بهذه الزيادة. بالنسبة الى خوارزميات شعاع المسافة بالقفزات وعدم الانتظام فزيادة العقد في الشبكة يؤدي الى انخفاض في متوسط طول القفزة الواحدة ودقة موقع أعلى، أما خوارزمية النقطة التقريبية في المثلث زيادة العقد تؤدي الى دقة اعلى في اختبار النقطة التقريبية نتيجة تقييم اتجاهات أكثر، وبالتالي دقة في تحديد منطقة التداخل التي يقع الحساس ضمنها، لذلك نلاحظ انخفاض في خطأ الموقع.



الشكل (9) العلاقة بين خطأ الموقع وعدد العقد في الشبكة

الاستنتاجات والتوصيات

بالاستناد إلى نتائج المقارنة المتعلقة بخوارزميات تحديد الموقع غير المعتمدة على المدى بالنسبة إلى خطأ الموقع يمكن استنتاج الآتي:

- 1- تتأثر جميع الخوارزميات بعدد العقد المرجعية، كما لاحظنا أن زيادة العقد تؤدي إلى انخفاض واضح في خطأ الموقع، ولكن خوارزمية عدم الانتظام تحقق أصغر خطأ موقع في جميع السيناريوهات.
- 2- تتأثر خوارزميتي عدم الانتظام وشعاع المسافة بالقفزات بشكل كبير بعدد العقد في الشبكة، ويعود ذلك إلى أن كثافة العقدة تدخل في حساب متوسط طول القفزة الواحدة. أما بقية الخوارزميات لا تتأثر بعدد العقد، والسبب اعتمادها على العقد المرجعية في حساب موقع عقد الحساسات.
- 3- على الرغم من أن خوارزمية عدم الانتظام تحقق أفضل أداء، وذلك من حيث عدد العقد المرجعية وعدد العقد في الشبكة إلا أنها لا تحقق المستوى ذاته من حيث مجال الاتصال، إذ كانت خوارزمية شعاع المسافة بالقفزات الأفضل. وفقاً للاستنتاجات يقترح البحث التوصيات التالية:

- 1- بما أن معيار الأداء (خطأ الموقع) قد تمت دراسته تبعاً لبارامترات الشبكة (عدد العقد المرجعية، مجال الاتصال، عدد العقد في الشبكة)، يمكن أن يُوصى باستخدام خوارزمية عدم الانتظام بشرط استخدام مجال اتصال صغير. تعتبر الخوارزمية الأفضل أداء في تحديد الموقع.
- 2- استخدام العقد المرجعية مكلف في عملية تحديد موقع الحساس، لكن يمكن تخفيض عدد العقد المرجعية باستخدام مجال اتصال كبير، وفي هذه الحالة يوصى باستخدام خوارزمية شعاع المسافة بالقفزات في حال كان الكلفة أهم من الدقة، حيث تتفوق على بقية الخوارزميات بما فيها خوارزمية عدم الانتظام.

المراجع:

- [1] JEVTIC,M.;ZOONIC,N.*Evaluation of Wireless Sensor Network Simulators*. 17th Telecommunication forum TELFOR,Serbia, Belgrade, November 24-26, 2009.
- [2] STOLERU,R.;HE,T.;STANKOVIC,J.A.*Range-Free Localization*. Secure Localization and Time Synchronization for Wireless Sensor and Ad Hoc Networks. Advances in Information Security, vol.30. Springer, Boston,vol.30,2007,3-33.
- [3] SINGH,S.;SHAKYA,R.;YADUVIR,S.*Localization Techniques in Wireless Sensor Networks* International Journal of Computer Science and InformationTechnologie,vol.6, 2015,844-850.
- [4] BULUSU,N.;HEIDEMANN,J.;ESTRIN,D.*GPS-less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices*. IEEE Personal Communications,Vol.7, Issue.5, Oct 2000,28-34.
- [5]KHURANA,M.;PAYAL,A.*Performance Evaluation of Centroid Range Free Localization Algorithm in Wireless Sensor Network*.Journal of Management and Information Technology,Vol.3, No.1, 2011,105-109.
- [6] Li,S.;Ding,X.;Yang,T. *Analysis of Five Typical Localization Algorithms for Wireless Sensor Networks*. Scientific Research Publishing (SCIRP),vol.7, No.04,2015, 27-33.
- [7]NICULESCU,D.;NATH,B.*DV Based Positioning in Ad hoc Networks*. Journal of Telecommunication Systems, Vol.22, Issue 1–4,2003,267–280.
- [8] CHEN,H.;SEZAKI,K.;DENG,P.;SO,H.C.*An improved DV-Hop localization algorithm for wireless sensor networks*. In Proceedings of IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications , Singapore, 2008, 1557-1561.
- [9] KESHTGARY, M.;FASIHY,M.;RONAGHI,Z. *Performance Evaluation of Hop-Based Range-Free Localization Methods in Wireless Sensor Networks*.International Scholarly Research Network ISRN Communications and Networking,New York,vol.10,no.9, 2011.
- [10]SHEN,S.;YANG,B.;QAIN,K.;WANG,W.;JIANG,X.;SHE,Y.;WANG,Y.
An Improved Amorphous Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks. In proceedings of IEEE International Conference on Networking and Network Applications(NaNA), Hakodate, Japan, 23-25 July 2016.
- [11] ZHAO,L.;WEN,X.;LI,D.*Amorphous Localization Algorithm Based on BP Artificial Neural Network*.International Journal of Distributed Sensor Networks, Hsinchu, Taiwan,vol.11,No.9, 2015.

- [12] HE, T.; HUANG, C.; BLUM, B. M.; STANKOVIC, J. A.; ABDELZAHER, T. *Range-free Localization Schemes in Large Scale Sensor Networks*. Proceedings of the Ninth Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'03), San Diego, USA, 2003, 81-95.
- [13] FANG, Z.; SUN, H.; DENG, Z.; YANG, F. *IMPROVED APIT algorithm and its application in Core Poisoning Systems*. Proceedings of the 2nd International Conference on Science and Social Research (ICSSR 2013), Beijing, China, 2013, 695-698.
- [14] VARGA, A. K. *Localization techniques in wireless sensor networks*. Production Systems and Information Engineering, Hungary, Vol. 3, 2013, 81-90.