

تحسين دقة حساب مواقع العقد اللاسلكية في شبكات إنترنت الأشياء

د. علاء محفوض *

(تاريخ الإيداع 2021/ 8/ 10 . قُبِلَ للنشر في 2021/ 12/ 12)

□ ملخص □

شهدت السنوات الحالية تطوراً سريعاً في التقنيات اللاسلكية والإنترنت، مما فتح المجال لأن تصبح شبكة إنترنت الأشياء (IoT) جزءاً لا يتجزأ من حياتنا اليومية. تعد قضية تحديد الموقع من بين التطبيقات الأكثر أهمية المتعلقة بإنترنت الأشياء. تعتمد بعض تطبيقات شبكة إنترنت الأشياء على نشر عدد كبير من الحساسات والأجهزة اللاسلكية للقيام بعمليات مختلفة في الشبكة. يتطلب عمل الشبكة وجود مجموعة من البروتوكولات من أجل تحديد موقع تلك العقد. تم اقتراح عدد كبير من تقنيات تحديد الموقع. تعتمد تقنيات تحديد الموقع على طرق مختلفة في التموضع وعلى تقنيات وأجهزة مختلفة مما يجعلها مناسبة في بعض التطبيقات وغير مناسبة في أخرى. تتضمن بعض التطبيقات تقنيات تحديد موقع معروفة مثل الـ GPS لكنها مكلفة وغير فعالة في عدد من التطبيقات.

يقدم البحث خوارزمية جديدة لتحديد موقع العقد تعتمد مبدأ الأبعاد المتناسبة في الفراغ، تعتمد الطريقة على حساب قوة الإشارة المستقبلية في العقد المحيطة بالعقدة الهدف واستنتاج الأوزان ثم تحديد المضلع الذي يتضمن العقد المستهدفة المحيطة بالهدف وحساب مركز الأبعاد المتناسبة للشكل والمحدد بالموقع المتوقع للهدف. تم استخدام المحاكى NS 3 لبناء سيناريوهات المحاكاة ودراسة الطريقة المستخدمة ومقارنتها مع الدراسات المرجعية. وقد بينت نتائج المحاكاة أن الطريقة المقترحة تقدم أداء أعلى من الخوارزميات المرجعية من ناحية دقة تحديد الموقع في حالة عقد ثابتة أو متحركة كما أنها تتعامل مع البيئة ثلاثية الأبعاد.

الكلمات المفتاحية: تحديد الموقع، إنترنت الأشياء، مركز الأبعاد النسبية.

* قائم بالأعمال ، قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات ، كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، جامعة طرطوس، طرطوس، سوريا

Improving the accuracy of wireless nodes localization in IoT networks

Dr. Eng. Alaa Mahfoud *

(Received 10/8 / 2021 . Accepted 12 /12 / 2021)

□ ABSTRACT □

Recent years there has been a rapid development in wireless technologies and Internet, opening the way for the Internet of Things (IoT) to become an important part of our daily lives. Localization is one of the most important applications related to the Internet of Things. Some Internet of Things applications depends on the deployment of a large number of sensors and wireless devices to carry out various operations in the network. Network operation requires a set of protocols to locate those nodes. A large number of Localization techniques have been proposed. Localization techniques depend on different methods of Localization and different technologies and devices, making them suitable in some applications and not suitable in others. Some applications include traditional locating technologies such as GPS, but they are expensive and ineffective in many applications.

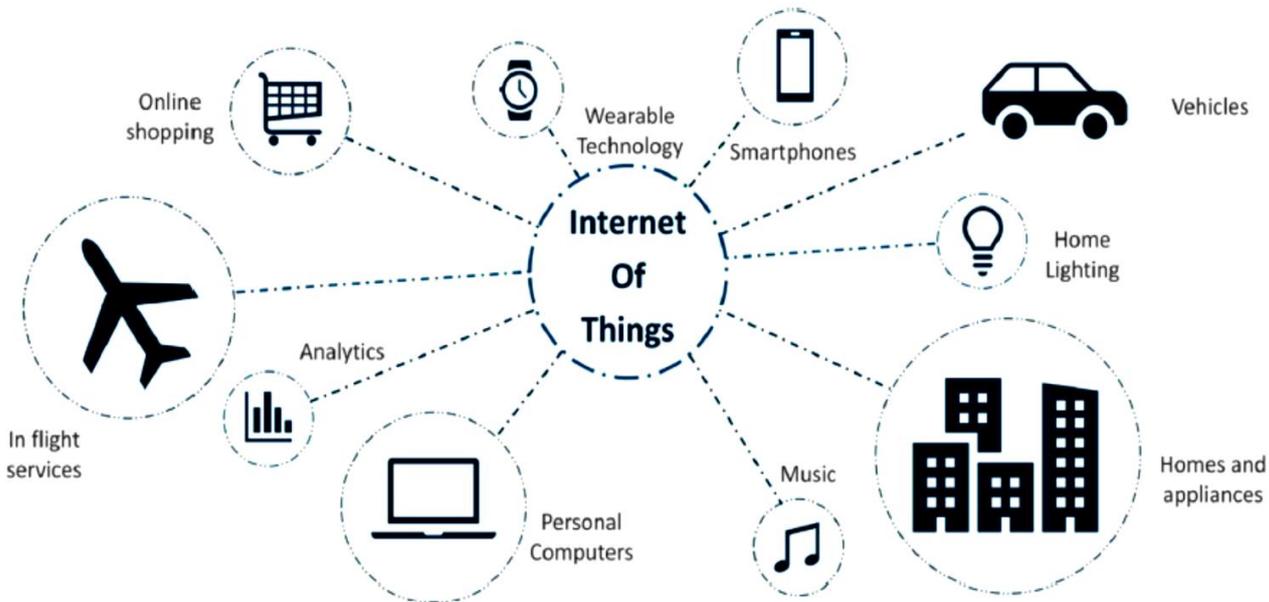
This research present a new algorithm to locate the nodes that depends on the principle of Barycentric in space. The method depends on calculating the strength of the received signal at the nodes surrounding the target node and calculate the weights, then determining the polygon that includes the nodes that surrounding the target and calculating the Barycentric of the shape, which we identified with the expected location of the target. We used the NS3 simulator to build simulation scenarios, study the method used and compare it with the reference studies. The simulation results showed that the proposed method provides a higher performance than the reference algorithms in terms of accuracy in determining the location in the case of fixed or moving nodes, as it deals with the 3D environment.

Keywords: Localization, IOT, Barycentric.

* Teacher of Communication Technology, Faculty of Information and Communication Engineering, Taratus University, Taratus, Syria.

مقدمة:

أصبحت إنترنت الأشياء (IoT) في السنوات الأخيرة إحدى الاتجاهات الهامة في مجال التكنولوجيا، ومن المتوقع أن يصل عدد أجهزة إنترنت الأشياء إلى 150 مليار بحلول عام 2025 [1]. إن الهدف من إنترنت الأشياء هو توصيل كل جهاز يمكن أن يستفيد من الاتصال بالإنترنت، بدءاً من الحساسات منخفضة التعقيد إلى السيارات المعقدة ذاتية القيادة. تمتلك بيئة شبكة إنترنت الأشياء عادةً مجموعة قياسية من الخصائص التي تختلف وفقاً لتطبيقاتها، ومع ذلك تم توصيل عدد كبير من الأجهزة ذات الطاقة المنخفضة والتعقيد المنخفض. تركز فئة واحدة من إنترنت الأشياء على مثل هذه الأجهزة المتصلة بأعداد كبيرة في الشبكة يُعرف هذا باسم إنترنت الأشياء الضخم. يتم توصيل عدد كبير من الأجهزة في شبكة يكون فيها معدل نقل منخفض وعمر بطارية طويل، وقد أدى التوسع الحالي في إنترنت الأشياء إلى تسريع ظهور وتوحيد بروتوكولات الاتصال التي قد تتناسب خصائص هذه الشبكة بشكل أفضل. أحد البروتوكولات الناشئة هو Narrowband-IoT وهو تقنية راديو تسهل اتصال أجهزة إنترنت الأشياء في شبكات منطقة واسعة منخفضة الطاقة (LPWAN). عادةً ما تستخدم أجهزة إنترنت الأشياء الضخمة أجهزة لاسلكية متحركة. تعتمد أجهزة إنترنت الأشياء بشكل كبير على التموضع الجغرافي للجهاز، مما يعني تحديد موقعه. ومع ذلك، فإن العدد الهائل من هذه الأجهزة في الشبكة (شبكات كثيفة) يعيق التطبيق العملي ويزيد من تكلفة تثبيت أنظمة تحديد المواقع العالمية (GPS) على كل جهاز [2]. علاوة على ذلك، فإن طبيعة البيئة تقلل من كفاءة نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) في العثور على الموقع الدقيق للجهاز حيث قد يكون داخل مصنع أو خلف جدران خرسانية [3]. بما أن تحديد الموقع اليدوي للأجهزة صعب جداً، فإنه ذلك يزيد من الحاجة إلى تقنية تحديد موقع يمكنها العمل مع هذا النوع من متطلبات الشبكة [4].



الشكل (1) شبكة انترنت الأشياء

أهمية البحث وأهدافه:

تعد قضية تحديد موقع العقد اللاسلكية من أهم التحديات التي تواجه عمل عدد كبير من الأجهزة ضمن شبكة إنترنت الأشياء. تتنوع هذه الأجهزة بين الحساسات اللاسلكية والعربات الذكية والدرونات وغيرها [5]. يحتاج مدير الشبكة أو المستخدمين إلى تحديد موقع الأجهزة بشكل مستمر في بيئات يصعب عمل تقنيات تحديد الموقع التقليدية فيها مثل الـ GPS. يهدف هذا البحث إلى إيجاد تقنية فعالة لتحديد موقع العقد اللاسلكية بطريقة رياضية غير معتمدة على المدى تتميز بالسرعة والبساطة، وكذلك تستطيع التعامل مع البيئة ثلاثية الأبعاد 3D ومع حركة العقد.

طرائق البحث وموارده:

من أجل تطبيق الطريقة المقترحة سوف نقوم ببناء سيناريوهات المحاكاة باستخدام برنامج محاكي الشبكات الإصدار الثالث Network Simulator 3 ، وهو عبارة عن محاكي شبكات مفتوح المصدر يدعم عدداً كبيراً من بروتوكولات الشبكات المختلفة مع إمكانية إجراء التعديلات ودراسة البارامترات المختلفة وإظهار النتائج وتحليلها. قمنا بوضع عدة سيناريوهات لشبكات Ad hoc مع دراسة البارامترات الآتية بشكل تجريبي باستخدام المحاكى السابق:

1. خطأ تحديد الموقع: هو الفرق بين الموقع الذي تقوم الطريقة بتحديد الموقع الحقيقي.
2. متوسط خطأ تحديد الموقع: هو متوسط الخطأ في تحديد الموقع خلال عدة فترات زمنية.

3- تقنيات تحديد الموقع Techniques of localization

يعتمد حساب موقع العقد اللاسلكية على عدة تقنيات تنقسم إلى عدة أقسام مثل التقنيات المعتمدة على قياس المسافة أو على قياس الزاوية أو على القفزات أو على المنطقة. سوف نلخص أهم تقنيات حساب الموقع بالتالي:

3-1 زمن الوصول (ToA) Time of arrival

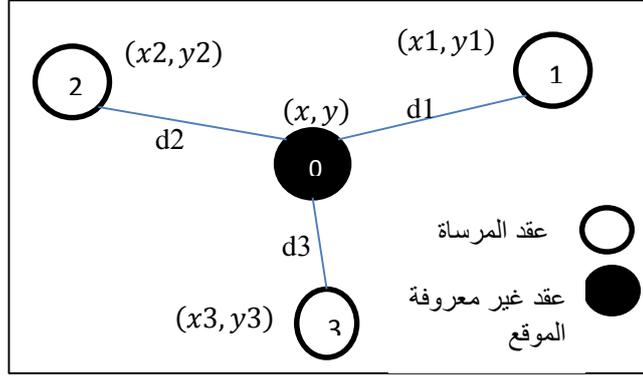
تعتمد على قياس زمن انتشار الإشارة بين عقدة غير معروفة وعقدة المرساة. يتم ضرب زمن الوصول بسرعة انتشار الإشارة (سرعة الضوء) للحصول على المسافة بين العقدة الهدف وعقدة المرساة وفق العلاقة:

$$d_1 = \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2} = v \cdot (t_1 - t) \quad (1)$$

$$d_2 = \sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2} = v \cdot (t_2 - t) \quad (2)$$

$$d_3 = \sqrt{(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2} = v \cdot (t_3 - t) \quad (3)$$

حيث d_1 البعد بين العقدة وعقدة المرساة رقم 1 و t_1 زمن انتشار الإشارة المستقبلية عند العقدة 1. و v هي سرعة الضوء، (x_1, y_1) إحداثيات عقدة المرساة الأولى. و t زمن إرسال الإشارة من العقدة.



الشكل (2) طريقة زمن الوصول.

تحتاج الخوارزمية إلى ثلاث عقد مراقبة على الأقل للحصول على نتيجة دقيقة، كما أنها تحتاج إلى تزامن بين عقد المراقبة [6]. يظهر الشكل طريقة تحديد الموقع باستخدام ثلاث عقد مرساة. يتم الحصول على الموقع (x,y) بعد حل المعادلات السابقة.

2-3 اختلاف زمن الوصول (TDoA) Time difference of arrival

تعتمد على اختلاف أزمنة الوصول بين عقد المرساة

$$\sqrt{(x_1 - x)^2 - (y_1 - y)^2} - \sqrt{(x_2 - x)^2 - (y_2 - y)^2} = v. (t_2 - t_1) \quad (4)$$

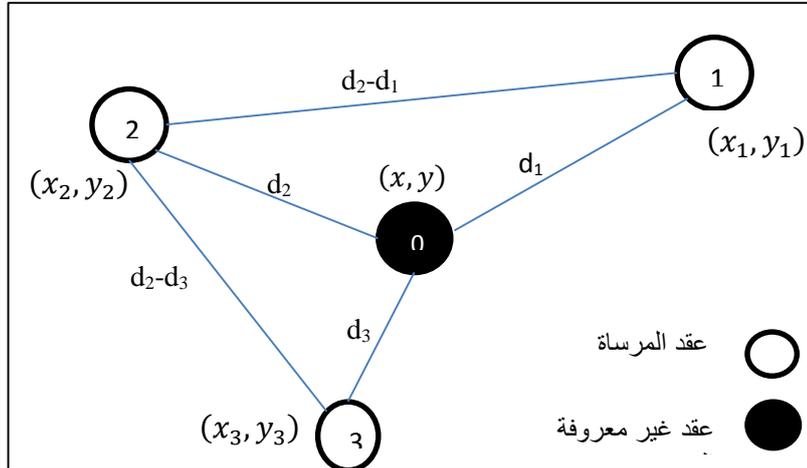
$$\sqrt{(x_1 - x)^2 - (y_1 - y)^2} - \sqrt{(x_3 - x)^2 - (y_3 - y)^2} = v. (t_3 - t_1) \quad (5)$$

حيث t_1 زمن انتشار الإشارة المستقبلية عند العقدة 1.

و t_2 زمن انتشار الإشارة المستقبلية عند العقدة 2.

و v هي سرعة الضوء

يتم حل المعادلات السابقة للحصول على الموقع المتوقع للعقدة [7]. كما في الشكل (3).



الشكل (3) طريقة اختلاف زمن الوصول.

3-3 قياس قوة الإشارة المستقبلية Radio signal strength

تتناقص قوة الإشارة المستقبلية خطياً وفقاً للمسافة بين المرسل والمستقبل [8]. تتطلب قوة الإشارة

المستقبلية (RSS) ما لا يقل عن 3 نقاط مراقبة لتحديد موقع العقدة الهدف بدقة مثل تقنيات ToA و

TDoA، على الرغم من عدم الحاجة إلى مزامنة هذه النقاط. تتطلب هذه التقنية قدرة خرج المرسل ومكاسب

الهوائي التي تعتبر ميزتها الرئيسية. كما أن قياس قوة الإشارة المستقبلية حساس للغاية للتداخل والذي قد يؤدي إلى انحرافات كبيرة من قياس إلى آخر.

A. طريقة زاوية الوصول (AoA)

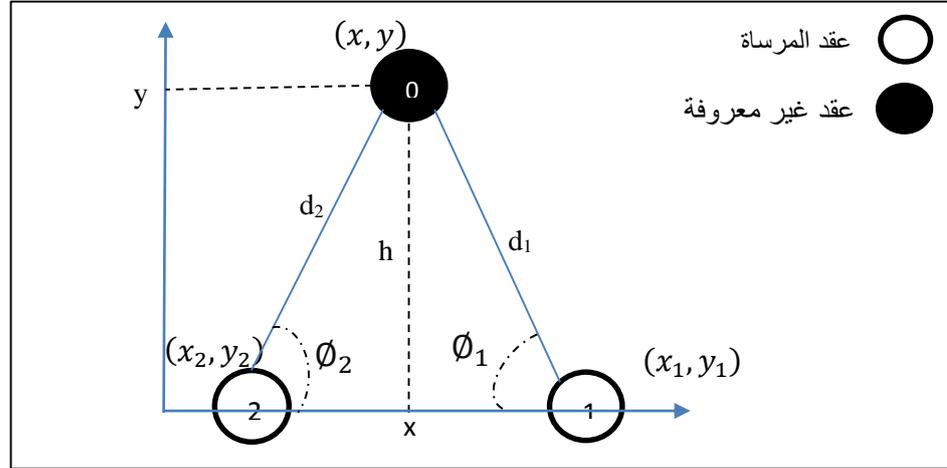
تعتمد هذه التقنية على طريقة التثليث وتتطلب استخدام عقدي مرسة. المسافة بين عقدي المرسة معروفة الشكل 4. كل عقدة ربط تحسب زاوية وصول الإشارة المستقبلية [9]. يتم حساب ارتفاع الإشارة المستقبلية h باستخدام المعادلة التالية:

$$h = \frac{d \sin(\phi_1) \sin(\phi_2)}{\sin(\phi_1 + \phi_2)} \quad (6)$$

$$d_1 = \frac{h}{\sin(\phi_1)} \quad (7)$$

$$d_2 = \frac{h}{\sin(\phi_2)} \quad (8)$$

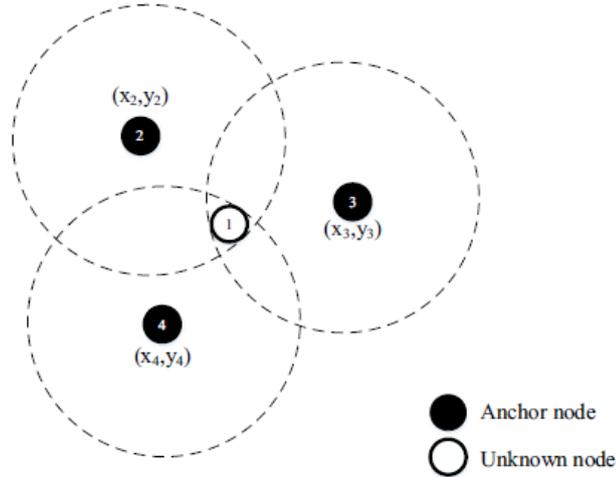
يتم تقدير الموضع عن طريق تقاطع هذه المسافات في اتجاه الزاويتين المحسوبتين.



الشكل (4) طريقة زاوية الوصول.

B. طريقة توقع العقدة المرجعية Single reference area estimation

يمكن تمييز منطقة التغطية الراديوية بدائرة نصف قطرها R_{max} . بمعنى آخر ، إذا استمعت العقدة B إلى العقدة A ، فإنها تفترض أنه يجب ألا تكون على مسافة أبعد من R_{max} بالنسبة A. على سبيل المثال ، إذا كانت أي عقدة غير معروفة مغطاة بعقدة ربط ، يجب أن تكون في المنطقة الهندسية المتشكلة بواسطة تقاطع دوائر نصف قطر R_{max} المتمركزة على عقد الربط هذه [10]. كما في الشكل (5).



الشكل (5) طريقة توقع العقدة المرجعية.

- C. قدم الباحثون في [11] دراسة على جهاز الارسال والاستقبال في أجهزة انترنت الأشياء بهدف تحسين دقة تحديد الموقع باستخدام مبدأ التعلم الآلي.
- D. قدم الباحثون في [12] طريقة اسموها تحديد الموقع المنعزل عن الأجهزة Device-free localization (DFL) تعتمد على حساب قوة الإشارة المستقبلية RSS ثم تحويلها إلى صورة تتضمن كامل المعلومات. تتم معالجة الصورة ضمن شبكة عصبية للحصول على الموقع المطلوب للهدف.

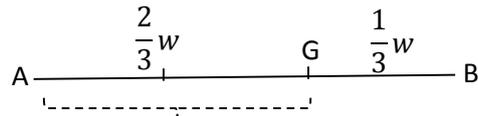
4. طريقة الأبعاد المتناسبة في الفراغ لتحديد مواقع العقد

3D Barycentric localization (BL):

نقدم في هذا البحث خوارزمية لتحديد موقع العقد في شبكات انترنت الأشياء تعتمد على دقة مركز الابعاد المتناسبة في تحديد الموقع. قبل شرح الطريقة المقترحة سوف نوضح المبدأ الرياضي لمركز الابعاد المتناسبة:

1-4 مركز الأبعاد المتناسبة في الفراغ:

هو عبارة عن مركز النّقل الهندسي للشكل بالاعتماد على أوزان معطاة. وهي نقطة يكون المجموع الشعاعي (المتجهي) بين نقط موزونة غير منعدم ويكون متناسبا مع وزنها بشرط ألا يكون المجموع الجبري للأوزان كلها معدوماً. يمكن حساب هذا المركز لنقطتين أو لمجموعة نقاط في المستوي أو الفراغ. إذا كان لدينا نقطتين A و B ولكل نقطة وزن $w_a=1$, $w_b=2$ نحسب مركز الأبعاد المتناسبة G بتقسيم القطعة AB إلى أقسام مساوية لمجموع الأوزان أي 3 وتبعد G عن كل نقطة بشكل متناسب مع الأوزان.



الشكل (6) مركز الأبعاد المتناسبة لنقطتين

إذا كان لدينا شكل هندسي مكون من مجموعة من النقط P_i ولكل نقطة وزن w_i يمكن حساب مركز الأبعاد المتناسبة لكل نقطتين ثم حساب المركز الأبعاد المتناسبة للنقط الناتجة حتى الحصول على مركز الشكل. يمكن بشكل

مباشر حساب مركز الأبعاد المنتاسبة عن طريق ضرب الأوزان بإحداثيات النقاط والتقسيم على مجموع الأوزان [13] كما في العلاقة (9).

$$G = \frac{\sum_i w_i p_i}{\sum_i w_i} \quad (9)$$

يستخدم مركز الأبعاد المنتاسبة في مجال واسع من التطبيقات الهندسية مثل العمارة والبناء والميكانيك وعلوم الفضاء.

4-2 الطريقة المقترحة:

نقدم في هذا البحث طريقة لتحديد موقع العقد في شبكات انترنت الأشياء تعتمد على مجموعة من الخطوات:

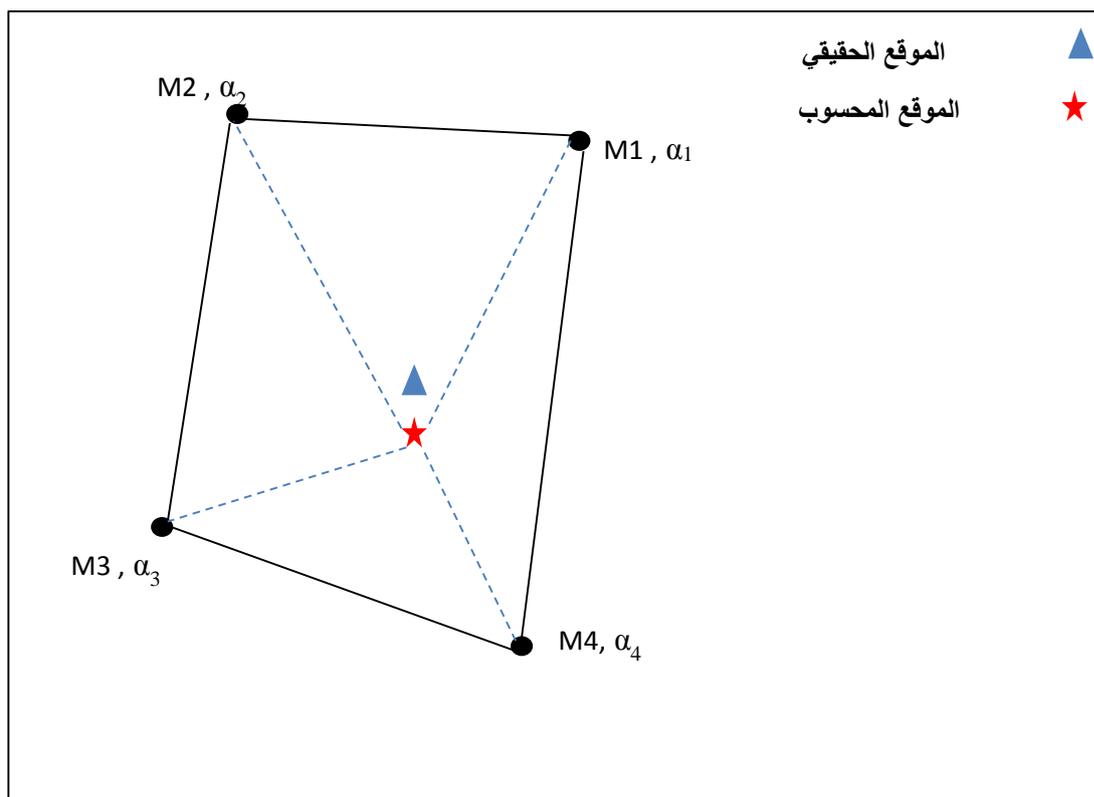
1. قياس بارامتر الحساب: يمكن أن نستخدم أي بارامتر يدل على تواجد العقدة في جوار عقد المراقبة، مثل استخدام قياس قوة الإشارة المستقبلية RSS والذي يدل على مدى قرب العقدة من عقد المراقبة.
2. حساب نسبة البعد: نقوم بحساب نسبة قوة الإشارة المستقبلية التي ستكون البارامتر المستخدم لحساب مركز الأبعاد المنتاسبة. نحسب البارامتر α بالطريقة التالية: نأخذ قيمة RSS_{max} كقيمة مرجعية للمقام بحيث تنسب كل قيم قياسات RSS إليها بحيث تحسب قيمة α بالعلاقة:

$$\alpha = \frac{RSS}{RSS_{max}} \quad (0-1) \quad (10)$$

3. تقوم عقد المرساة (العقد التي على اتصال مع العقدة الهدف) برسم مضلع غير محدد الشكل وهو عبارة عن مضلع رؤوسه عبارة عن عقد المراقبة. ليكن a عدد العقد التي تشكل المضلع، يمكن تطبيق علاقة مركز الأبعاد النسبية مباشرة لحساب الموقع المتوقع للعقدة الهدف:

$$(X, Y, Z) = \frac{\sum_i a_i x_i}{\sum_i a_i} + \frac{\sum_i a_i y_i}{\sum_i a_i} + \frac{\sum_i a_i z_i}{\sum_i a_i} \quad (11)$$

حيث (X, Y, Z) هي إحداثيات الموقع المتوقع للعقدة. يتم مقارنة الموقع المحسوب مع الموقع الحقيقي باستخدام بيئة محاكاة تحقق تتبع مواقع العقد في الشبكات. تحقق الطريقة المقترحة العمل في البيئة ثلاثية الأبعاد، إذا اردنا تبسيط الطريقة للعمل في البيئة ثنائية الأبعاد يمكننا تثبيت إحداثيات الارتفاع على الصفر أي $Z=0$.



الشكل (7) حساب مركز الأبعاد المتناسبة للمضلع

يعبر الشكل (7) عن طريقة حساب الموقع.

5. النتائج والمناقشة:

تم ببناء شبكة انترنت أشياء مكونة من مجموعة من الأجهزة تتصل مع بعضها بدون بنية تحتية أي Ad hoc بالإضافة لبوابة للوصول إلى خادم انترنت الأشياء. قمنا ببناء سيناريوهات المحاكاة باستخدام محاكي الشبكات NS3 [14]، تتبادل العقد المعلومات فيما بينها باستخدام نموذج متعدد القفزات، لدينا مجموعة من العقد في الشبكة تعلم موقعا وعقد أخرى مجهولة الموقع. قمنا بتطبيق الطريقة المقترحة على الشبكة من أجل تحديد موقع العقد مجهولة الموقع ومقارنته مع الموقع الحقيقي ومقارنة النتائج مع الدراسات المرجعية وفق مجموعة من السيناريوهات. يبين الجدول (1) بارامترات الشبكة والمحاكاة.

الجدول (1) بارامترات المحاكاة

Ad hoc	نوع العقد
1000x1 000m2	مساحة الشبكة
200s	زمن المحاكاة
11Mbps	معدل النقل

3mw	استطاعة الإرسال
0.1J	طاقة العقد

1.5 تحليل الخطأ:

تعتمد دقة حساب الموقع على عدد العقد المشاركة في الحساب. من أجل دراسة الطريقة المقترحة يجب مقارنة الموقع المحسوب مع الموقع الحقيقي باستخدام بيئة المحاكاة. A. دراسة قيمة خطأ حساب الموقع عن طريق حساب الفرق بين الموقع المحسوب والموقع الحقيقي وفق العلاقة التالية:

$$\text{error} = \|x - x'\| \quad (14)$$

حيث x الموقع الحقيقي و x' الموقع المحسوب.

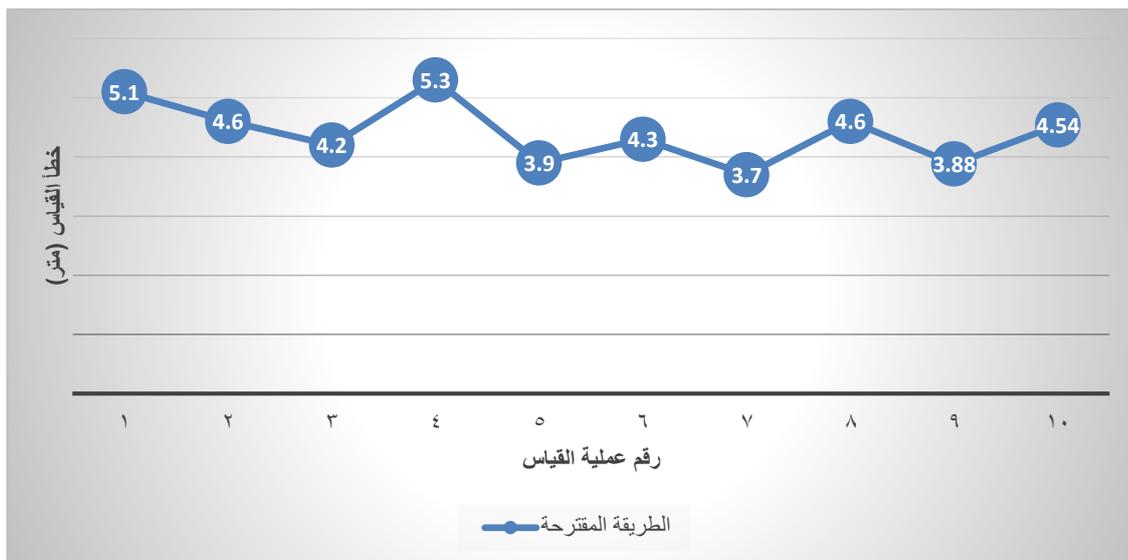
يتم حساب متوسط الخطأ M خلال زمن المحاكاة بالعلاقة (15) [15]:

$$M = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^S \|x_i - x'_i\| \quad (15)$$

حيث S عدد الفترات الزمنية التي يتم بها القياس.

2.5 السيناريو الأول:

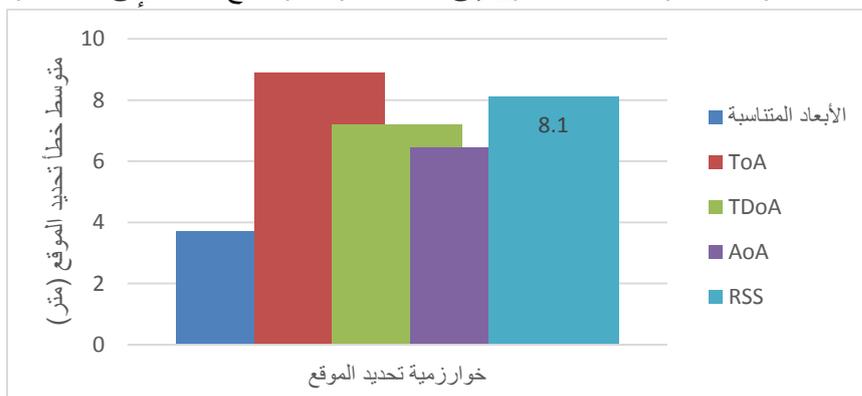
قمنا ببناء شبكة مكونة من 20 عقدة منتشرة ضمن صالة بأبعاد 1000x1000m بحيث لا يوجد عوائق أو جدران تعيق انتشار الإشارة في الوسط. زدنا مجموعة من العقد بتقنية تحديد الموقع GPS وهي عقد المراقبة، بينما لدينا عقدة مجهولة الموقع. قمنا بتطبيق الطريقة المقترحة وحساب الموقع والخطأ يظهر الشكل (8) مخططاً للخطأ المقاس في حساب الموقع خلال زمن المحاكاة تم أخذ النتائج من برنامج NS3 ورسمها باستخدام برنامج اكسل.



الشكل (8) خطأ حساب الموقع عند كل عملية قياس

عند كل عملية قياس تقوم عقد المراقبة بجمع معلومات قوة الإشارة المستقبلية ومن ثم حساب الأوزان وبعدها حساب الموقع المتوقع للعقدة الهدف. بعد كل حساب للموقع قمنا بدراسة الخطأ في القياس وفق العلاقة (8). نلاحظ من الشكل اختلاف قيمة الخطأ عند كل عملية قياس وذلك يعود إلى الخطأ الحاصل في قياس قوة الإشارة المستقبلية من العقدة الهدف. نلاحظ أن قيمة الخطأ تتراوح بين 3.7 متر و 5.3 متر عند عمليات القياس العشر.

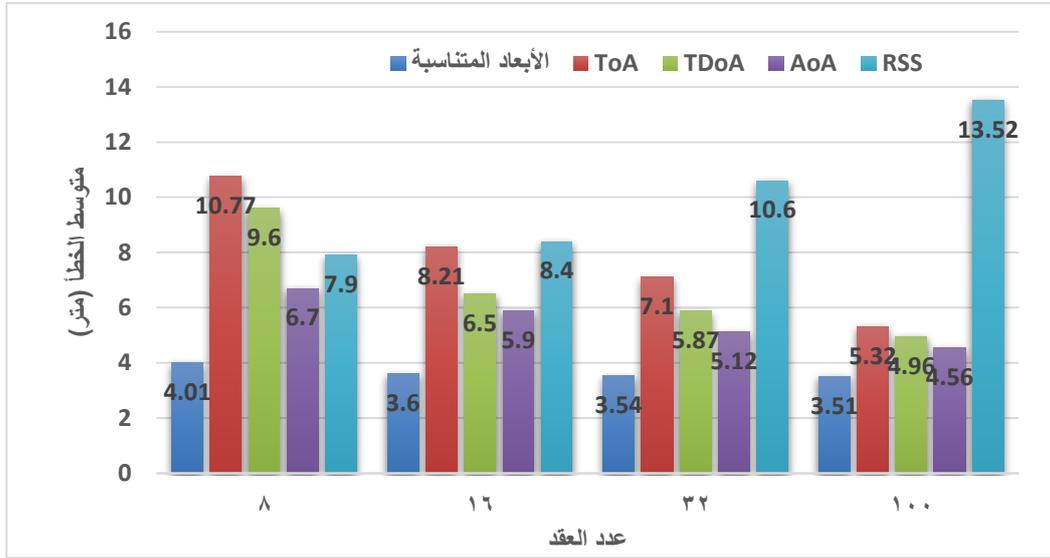
B. قمنا بتشغيل المحاكاة لمدة 20 ثانية مع تطبيق الطريقة المقترحة والخوارزميات المرجعية بهدف مقارنة أداء الخوارزميات في كشف الموقع. يمثل الشكل (9) مخططاً لمتوسط الخطأ في تحديد الموقع مقاساً وفق العلاقة (15)، نلاحظ أن الخطأ في الطريقة المقترحة أقل من الخطأ في حالة الدراسات المرجعية يصل الفرق إلى 2.75 متر مقارنة مع AoA وإلى 4.4 متر مقارنة مع RSS.



الشكل (9) متوسط الخطأ في تحديد الموقع

C. قمنا بزيادة عدد العقد في الشبكة تدريجياً من 8 عقد إلى 16 ثم 32 ثم 100 عقدة، بهدف دراسة تأثير زيادة كثافة العقد على أداء الخوارزميات. يمثل الشكل (10) مخططاً لمتوسط الخطأ المقاس أثناء تحديد الموقع عند الحالات المختلفة لعدد العقد في الشبكة. نلاحظ أن زيادة عدد العقد يزيد من دقة حساب الموقع وهي ميزة مشتركة بين الخوارزميات الجيومترية لأن زيادة الكثافة تؤدي إلى زيادة البيانات المتوفرة في الشبكة وزيادة عدد العقد المشاركة في حساب الموقع. نلاحظ من الشكل أن طريقة RSS تنقص دقتها مع زيادة عدد عقد الشبكة بسبب تأثير العقد المجاورة على قوة

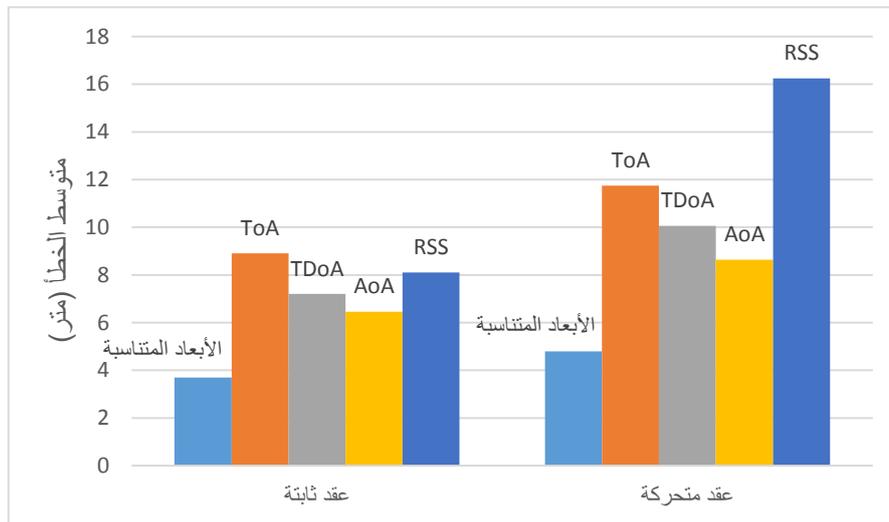
الإشارة المستقبلية. نلاحظ أنه عند حالة 100 عقدة تزيد دقة الحساب في الطريقة المقترحة عن طريقة AoA بمقدار 1.05 متر.



الشكل (10) متوسط الخطأ في حال تغيير عدد عقد الشبكة

3.5 السيناريو الثاني:

أخذنا الشبكة التي تم دراستها في السيناريو السابق تتكون من عشرين عقدة، تتحرك العقدة في مسار ثابت على عشوائي في الشبكة بسرعة 10m/s. يهدف السيناريو إلى دراسة أداء دقة حساب الموقع في الطريقة المقترحة في حالة حركة العقد.



الشكل (11) مقارنة أداء الخوارزميات في حال حركة المهاجمين

يوضح الشكل (11) مخططاً لمتوسط الخطأ عند استخدام الطرائق المقترحة والمرجعية في حالتي عقد ثابتة وعقد متحركة. نلاحظ من الشكل أن متوسط الخطأ يزداد في حالة حركة العقد عند استخدام أي طريقة لتحديد الموقع. وجدنا أن الخطأ يزداد في قياس الموقع في الخوارزميات المرجعية بشكل كبير بالمقارنة بين الحالتين يصل الفرق إلى 2.19 متر في حالة AoA. تعاني الطريقة المقترحة من خطأ منخفض في حال حركة العقد لأنها طريقة متكيفة وسريعة في تحديد قوة الإشارة وتشكيل المضلع وحساب الموقع.

6. الاستنتاجات والتوصيات:

- قدمنا في هذا البحث خوارزمية جديدة لتحديد موقع العقد في البيئة ثلاثية الأبعاد تعتمد على استخدام أوزان للحساب الدقيق للموقع، يمكننا تلخيص النتائج التي تم الحصول عليها في النقاط الآتية:
1. تقدم الطريقة آلية رياضية فعالة لتحديد الموقع بالاعتماد نظرية الأبعاد المتناسبة.
 2. تتميز الطريقة المقترحة عن الدراسات المرجعية بكونها تستطيع العمل في البيئة الحقيقية ثلاثية الأبعاد.
 3. تعاني الطريقة من خطأ نسبي في تحديد الموقع ناتج عن الخطأ النسبي الحاصل في قياس قوة الإشارة بسبب عدة عوامل رغم أن الطريقة الهندسية في تحديد الموقع دقيقة جداً.
 4. وجدنا أن الخطأ في قياس الموقع أقل من الدراسات المرجعية يصل الفرق إلى 1.05 متر مقارنة مع الدراسة المرجعية الأرق AOA.
 5. تختلف نتيجة حساب الموقع عند كل عملية حساب في الطريقة المقترحة بسبب الاختلاف في قياس قوة الإشارة المستقبلية وبالتالي اختلاف الأوزان والموقع المحسوب.
 6. تؤثر زيادة عدد العقد على أداء الخوارزميات بشكل عام حيث تزداد دقة تحديد الموقع ولكن تنخفض الدقة في طريقة RSS.
 7. تعاني الخوارزميات صعوبة في اكتشاف موقع العقد المتحركة مما يؤدي إلى زيادة خطأ القياس. تقدم الدراسة المقترحة أداء أعلى لأنها لحظية وتقوم بتحديث الأوزان وحساب الموقع الجديد عند كل تغير في قيم قوة الإشارة.
 8. تقدم الطريقة المقترحة البساطة والسرعة في تحديد الموقع مع خطأ قياس منخفض.
- بعد تحليل النتائج السابقة نوصي باستخدام الطريقة المقترحة لأنها سريعة ودقيقة وتعمل في البيئة ثلاثية الأبعاد، كما أنها تستطيع التعامل مع حالة حركة العقد. كعمل مستقبلي نوصي باختبار الطريقة في بيئة ثلاثية الأبعاد وتقييم أداءها.

المراجع

- 1] LU International Telecommunication Union Internet Reports, "The Internet of Things,"2005.
- 2] F. J. Dian, R. Vahidnia and A. Rahmati, "Wearables and the Internet of Things(IoT), Applications, Opportunities, and Challenges: A Survey,"*IEEE Access*,vol.8, p. 69200–69211, 2020.
- 3] 3GPP TS36.211, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); PhysicalChannels and modulation".*3GPP TS 36.211 version 14.2.0 Release 14*.
- 4] D. Miorandi, S. Sicari, F. D. Pellegrini and I. Chlamtac, "Internet of things: Vision,applications and research challenges,"*Ad Hoc Networks*,2012.
- 5] Edureka, "IoT Applications," [Online]. Available: <https://www.edureka.co/blog/iot-applications/>. [Accessed July 2020]
- 6] A. M. H. Khalel,*Position location techniques in wireless communication systems*,2010.
- 7] A. Norrdine, "An ALgebraic Solution to the Multilateration Problem," in*International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*, 2012.
- 8] S. A.Zekavat and R. Buehrer, HANDBOOK OF POSITION LOCATION : Theory,Practice, and Advances, WILEY, 2012.
- 9] T. Cheng, P. Li, and S. Zhu, "An algorithm for jammer localization in wireless sensor networks," IEEE 26th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA), pp. 724–731,2012.
- 10] A. K. Paul and T. Sato, "Localization in wireless sensor networks: A survey on algorithms, measurement techniques, applications and challenges, "*Journal of Sensor and Actuator Networks*, vol. 6, p. 24, 2017.
- 11] Mongay Batalla J., Mavromoustakis C., Mastorakis G., Xiong, Naixue N., Woźniak J, "Adaptive Positioning Systems Based on Multiple Wireless Interfaces for Industrial IoT in Harsh Manufacturing Environments IEEE JOURNAL ONSELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS Vol. 5, pp. 899-914, 2020.
- 12] Lingjun Zh, Chunhua Su, Huakun H, Zhaoyang H, Shuxue D and Xiang Li "Intrusion Detection Based on Device-Free Localization in the Era of IoT," *Wireless Networks*, vol. 17, no. 2, pp. 531–547, 2011.
- 13] WAREEN, J. SCHAEFER, S. HIRANI, A and DESBRUN, M. " Barycentric coordinates for convex sets". *Advances in Computational Mathematics* volume 27, (2007), pp. 319–338.
- 14] Ns3. Portal. [Online]. Available: <http://www.nsnam.org>, LAST VISITE 1/5/2021.
- 15] WANG,T and WEI, X. " GSA-based Jammer Localization in Multi-Hop Wireless Network" 2017 IEEE International Conference on Computational Science and Engineering (CSE) and IEEE International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC), 2017, pp. 410-415.