Determining the Optimal Localization of Nodes in Wireless Sensor Networks: Indoor Environment

Huda Alali*

(Received 17 / 8 / 2023. Accepted 8 / 10 / 2023)

□ ABSTRACT □

Due to development of wireless sensor networks WSN and the expanding of their uses in large field of connections, the needs of saving power are the most important issue when dealing with WSN.

Many solutions have proposed to save wireless nodes energy like using different protocols to choose the best way according to many circumstances like energy, data packet loss, etc.….

In this study, we will discuss two different topologies for constructing wireless sensor networks and compare their performance due node energy using networks simulator NS2.

Keywords: wireless sensor network, localization, localization algorithms.

Copyright **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Master- Faculty of Mechanical and Electrical Engineering- Damascus University- Damascus- Syria. huda.alali@tishreen.edu**

تحديد الموقع الأمثل للعقد في شبكات الحساسات اللاسلكية : حالة بيئة مغلقة

هدى العلي*

(تاريخ الإيداع 17 / 8 / 2023. قُبِل للنشر في 8/ 10 / 2023)

□ ملخّص □

تعتبر شبكات الحساسات اللاسلكية من أكثر أنواع الشبكات استخداماً في مختلف التطبيقات، لكنها تعتبر حساسة لموضوع استهلاك الطاقة، حيث أن مصدر الطاقة في هذه الشبكات عبارة عن مدخرات ذات طاقة محدودة وغير قابلة للاستبدال أو إعادة الشحن، وذلك لصعوبة الوصول إلى أماكن تواجدها أو للكلفة العالية لموضوع الاستبدال .من هنا كانت أهمية إيجاد تموضع أمثلي لعقد الحساسات المشكلة للشبكة اللاسلكية، بحيث لا يؤثر انهيار عقدة أو أكثر على أداء الشبكة بشكل عام. تم في البداية الاستعانة بنظام تحديد المواقع GPS للحصول على معلومات متواترة عن موضع العقدة والإمكانات التي تحملها، ولكن اصطدمت هذه الطريقة بمشكلة فقدان الإشارة الناتج عن وجود عوائق أو أعماق تحجب الإشارة الخاصة بالأقمار الصناعية. تم الاستعاضة عن هذه الطرق باستخدام خوارزميات تموضع تسمح بإيجاد البنية الأفضل لأداء الشبكة، بحيث لا يؤثر فقدان عقدة أو مجموعة عقد على أداء الشبكة بشكل عام. تهتم هذه الدراسة بموضوع التموضع في شبكات الحساسات اللاسلكية ثلاثية الأبعاد، لما تعاني من صعوبة في تحديد الموضع الأمثلي نتيجة لوجود البعد الثالث. إضافة إلى ذلك، سنقوم بإجراء اختبار على بنيتين مختلفتين للشبكة ثلاثية الأبعاد، والمقارنة بينهما من خلال واختيار الأفضل بينهما من خلال معيار استهلاك الطاقة عبر استخدام برنامج المحاكاة NS2.

الكلمات المفتاحية : شبكات الحساسات اللاسلكية، خوارزميات التموضع ، نظام تحديد المواقع.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

* **ماجستير- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق- دمشق- سورية. huda.alali@tishreen.edu**

مقدمة:

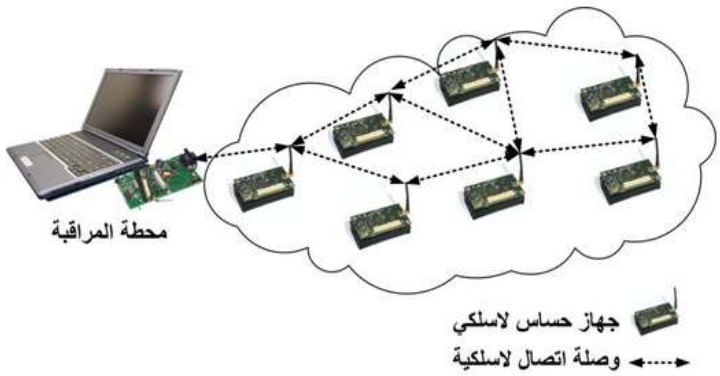
تعرف شبكات الحساسات اللاسلكية Wireless Sensor Network (WSN) بأنها مجموعة من الأجهزة المتصلة ببعضها البعض، مهمتها جمع البيانات وتبادلها عبر قنوات اتصال لاسلكية، حيث ترسل البيانات عبر عدة عقد، ومن ثم إلى شبكات أخرى عبر منفذ محدد. تعد شبكات الحساسات اللاسلكية ذات خصائص فريدة تجعلها مناسبة لكثير من التطبيقات، وقد لوحظ حديثاً نمو مثير للاهتمام في التطبيقات المعتمدة على هذه الشبكات، فصغر حجم هذه الحساسات وانخفاض تكلفتها يتيح نشرها بكميات كبيرة ، كما أن إمكانية إعداد العقد لنفسها ضمن الشبكة يجعلها قابلة للنشر في جميع البيئات وخاصة تلك التي يصعب الوصول إليها.[1]

تتألف هذه الشبكات من عدد كبير من التجهيزات صغيرة الحجم ذاتية التغذية تدعى عقد حساسةsensors nodes ، يتم نشرها في منطقة ما بغرض المراقبة، حيث تقوم هذه الحساسات بجمع المعلومات من البيئة المراد مراقبتها ومن ثم إرسالال معلومات إلى جهاز آخر (محطة رئيسية)، دون الحاجة لوجود المراقب في مكان الظاهرة المدروسة، وتقوم المحطة الرئيسية بإيصال المعلومات الى المستخدم عن طريق الإنترنت أو الأقمار الصناعية [2]. تتميّز شبكات الحسَاسات باعتمادها على نظام إدارة شبكي مبتكر لتوفير الاستغلال الأمثل للطاقة وموارد الاتصال، وتقدم في النهاية نظام تشغيل جديد يعد ثورة في هذا المجال .[3][4]

بدأت فكرة هذه الشبكات قبل عدة سنوات على أيدي وكالة مشاريع أبحاث تابعة لوزارة الدفاع الأمريكية وكان الغرض منها تزويد ميادين القتال العسكريَّة بأعداد هائلة من الحسَاسات والتي تقوم بقراءة أجواء وظروف المعارك، وقد أعطي هذا المشروع اسم التراب الذكي (smart dust) في إشارة للطبيعة الخفية لهذه الحساسات والتي أريد لها أن تنتشر في الميدان، ثم تحول هذا المشروع الى القطاع المدني وبدأ يدخل في العديد من التطبيقات والأبحاث.[5]

تعتبر شبكات الحساسات اللاسلكية شبكات منخفضة الحجم والتعقيد من حيث التجهيزات و الحساسات للبيئة المحيطة، حيث تعتمد على مصدر طاقة محدود، وتقوم بإيصال المعلومات التي تم جمعها من الميدان قيد الدراسة، عبر وصلات لاسلكية، بطريق مباشر أو عبر طرق متعددة، إلى مجمع ضمن شبكة محدودة أو متصلة بشبكات أخرى عن طريق Gateway.

تتألف شبكات الحساسات اللاسلكية بشكل عام، من محطات قاعدية base stations و مجموعة من العقد nodesالمتصلة فيما بينها حسب الشكل(1).



الشكل(1) . شكل توضيحي لنموذج عام لشبكة حساسات لاسلكية

أهمية البحث وأهدافه:

تتميز الشبكات اللاسلكية ثلاثية الأبعاد عن الشبكات ثنائية البعد، لكونها تهتم بالبعد الثالث وهو الارتفاع، حيث يعتبر إلغاء البعد الثالث بالمقارنة مع الطول والعرض مقبولا في التطبيقات التي تنشر فيها الحساسات على سطح الأرض وارتفاع الشبكة فيها أصغر من نصف قطر الارسال للعقدة.

أما في التطبيقات الحساسة والتي تنتشر يوماً بعد يومً مثل التطبيقات الخاصة بالفضاء،دراسة بنية تحت الماء، يتم نشر الحساسات على ارتفاعات مختلفة ويكون للمعلومات القياسية مع الارتفاع معنى، وهو ما تشكله الشبكة ثلاثية الأبعاد[4]. مع ذلك، يعد أخذ البعد الثالث بعين الاعتبار، مشكلة بحثية من حيث دراسة كفاءة هذه الشبكات وطرائق تحسين أدائها.

تهدف دراستنا إلى فهم آلية تموضع العقد، ومن ثم اقتراح بنية شبكة حساسات لاسلكية ثلاثية الأبعادWSN 3D ، لتقليل استهلاك الطاقة و التي تعتبر عاملاً هاماً في عمل هذه الشبكة ، بالإضافة الى زيادة إنتاجية عمل الشبكة وزيادة عمر الشبكة لتحسين أدائها.

طرائق البحث ومواده:

قمنا، لاختبار الخوارزمية المقترحة ، ببناء سيناريو المحاكاة باستخدام برنامج محاكي الشبكات Network Simulator (NS2) 2، ,وهو برنامج محاكاة مفتوح المصدر حيث استخدمنا الإصدار NS2.35 ، ويعتبر هذا المحاكي غني جداً بالعديد من مكونات وبروتوكولات الشبكات يجمع بين سرعة التنفيذ وسرعة التعديل ، ويرتكز في عمله داخلياً على لغتين هما C++ لكفاءتها وسرعتها في التنفيذ وتكتب بها البروتوكولات، والمكونات الثابتة التي لا تتغير و TCL بطيئة التنفيذ لكنها سريعة التعديل وتكتب بها أوامر المستخدم. تم اعتماد بنية مغلقة Indoor عبارة عن بناء متعدد الطوابق، بعقدتين مصدر، وعقدتين وجهة ،متوضعات في طبقات مختلفة من البناء ،وتم توضع باقي العقد إما بشكل عشوائي أو بشكل هندسي منتظم لتحديد التموضع الأمثلي للعقد .

1- أهمية تحديد الموقع في شبكات الحساسات اللاسلكية:

في أغلب الأحيان يتم نشر عقد الحساسات عشوائياً، من على متن طائرة مثلاً، وينجم عن هذا النشر العشوائي العديد من المشاكل من أهمها مشاكل التموضع (Localization)، وهو تقدير إحداثيات عقدة مجهولة الموقع في الشبكة ، فالبيانات التي تقدمها الحساسات تفقد أهميتها إذا كانت خالية من معلومات الموقع وقد يؤدي أيضا هذا الأمر إلى تفسير خاطئ لهذه البيانات.

قد يكون نظام تحديد الموقع العالمي خياراً جيداً فهو يؤمن دقة مقبولة ، لكن يكون، في بعض التطبيقات، استخدام مستقبلات (GPS) غير مجدي سواء من حيث صرفها الكبير للطاقة أو من حيث الوزن الكبير لها ، كذلك صعوبة استخدامه بسبب كلفته العالية ، ونظراً للعوائق والتضاريس فإن النظام لا يعمل في البيئات الداخلية كونه يتطلب خط نظر بين المرسل والمستقبل، لذلك كان لابد من استخدام خوارزميات التموضع ، حيث أغلب جميع خوارزميات التموضع في ثلاث مراحل أساسية:

- **تقدير المسافة (Distance Estimation)** : يتم تقدير المسافة النسبية بين العقد باستخدام مجموعة من التقنيات.
- **حساب الموقع (Position Computation)** : يتم تقدير موقع العقدة بالنسبة إلى عقدة أخرى معروفة الموقع.

- **خوارزميات التموضع (Localization Algorithms)** : يتم في هذه المرحلة ربط معلومات المسافة والموقع لتحديد موقع العقدة بدقة.

1-1- تقنيات تخمين المسافة:

يمكن تصنيف تقنيات تخمين المسافة إلى صنفين أساسيين هما:[6]

- **تقنيات غير معتمدة على المدى (Range Free):**

يعتمد المبدأ الأساسي لعملها على أنه إذا تمكنت عقدتين من الاتصال فإن المسافة بينهما ،وباحتمال كبير، ستكون أصغر من مدى إرسالهما الأعظمي المحدود بمسافة معينة(R) ، تعتمد دقة هذه التقنية على كثافة العقد ، وعدد العقد المرجعية معروفة الموقع، وعلى هيكلية الشبكة . تمتاز هذه الطريقة بالبساطة والتكلفة المنخفضة وتناسب التطبيقات التي لا تكون فيها دقة الموقع حرجة.

- **تقنيات معتمدة على المدى (Range Based):**
  - **زمن الوصول TOA (Time Of Arrival):**

تستخدم زمن الإرسال و سرعة الانتشار و زمن وصول الإشارة لحساب المسافة وفق العلاقة التالية:

المسافة = السرعة * الزمن

لكنها تحتاج إلى تزامن في الإرسال و الاستقبال.

  - **مؤشر قوة الإشارة المستقبلة(RSSI) Received Signal Strength Indicator :**

تتناسب قوة الإشارة الراديوية عكساً مع المسافة ،و بالتالي يمكن تحويل قوة الاشارة إلى مسافة عبر استخدام نموذج انتشار راديوي ، تعاني هذه التقنية من مشكلة في الدقة بسبب تغير شدة الإشارة تبعاً لتغيرات البيئة المحيطة.

  - **زمن اختلاف الوصول (TDOA) Time Difference Of Arrival :**

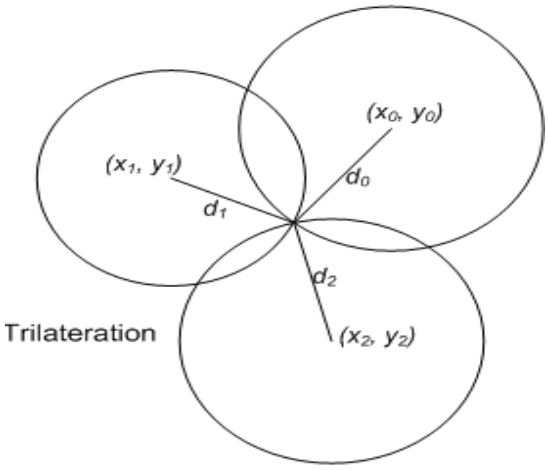
تستخدم هذه الطريقة إشارتين مختلفتين ، لهما سرعتان مختلفتان في الإرسال والاستقبال، ويتم حساب الفرق بين زمني الوصول لحساب المسافة.

  - **زاوية الوصول (AoA)Angle Of Arrival :**
    - يعتمد على الهوائيات المصفوفية من أجل تحديد زاوية الورود.
    - يجب على الطرفين أن يكونا قادرين على تحديد زاوية الورود.
    - في حالة أن الهدف يعرف اتجاهه فإنه يلزمنا اتصال الهدف مع حساسين.
    - عندما لا يعرف الهدف اتجاهه فإن الهدف يجب ان يكون على اتصال مع ثلاثة حساسات.

2-1- تقنيات حساب الموقع(Position Computation Techniques):

- **تقنية المسح النقطي(lateration):**

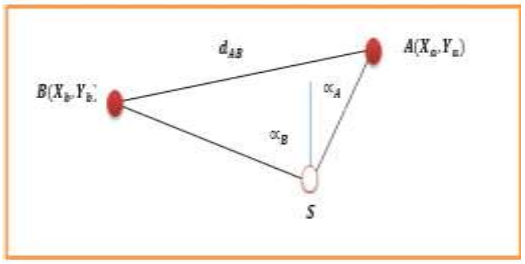
يتم حساب موقع العقدة من خلال ثلاث عقد مرجعية معروفة الموقع مجاورة لها(Trilateration)،وعند استخدامها مع فضاء ثلاثي الأبعاد نحتاج إلى أربع عقد (Multilateration) ، يتم تحديد موقع العقدة عن طريق تقاطع ثلاث دوائر مراكزها ثلاث عقد مجاورة معروفة الموقع ، ونصف القطر هو المسافة من هذه العقد إلى العقدة المطلوب تحديد موقعها [7]، من سيئاتها أن تكون معلومات المسافة خاطئة، وبالتالي يمكن للدوائر أن لا تتقاطع.



الشكل (2). تقنية Trilateration

- **تقنية التثليث المساحي(Triangulation) :**

يتم استخدام ثلاث عقد مرجعية على الأقل، و من ثم يتم حساب موقع العقدة من خلال الزوايا بالنسبة للعقد المرجعية التي تشكل مثلثاً اعتماداً على قوانين المثلثات.[7]



الشكل(3) . تقنية Triangulation

- **تقنية التموضع بمطابقة الأنماط(Pattern Matching Localization) :**

تدعى أيضاً بالخوارزمية المعتمدة على البصمة (Fingerprint Algorithm) وتتضمن طورين اثنين:

- الطور الأول (Offline) : تسجل بارامترات الإشارة القادمة من العقد في قاعدة بيانات تسمى بالخريطة الراديوية.
- الطور الثاني(Online) : تعمل فيه الحساسات ويتم فيه حساب الخريطة.

تم تقدير موقع العقدة من خلال مقارنة مواصفات الإشارة الملتقطة مع القيم مسبقة التسجيل في الخريطة. تعاني هذه التقنية من تقلبات الجو لأنها تكون قد سجلت بارامترات الإشارة في الطور الأول فتكون بحاجة لإعادة تنفيذ الطور الأول من جديد في الجو الجديد. [7]

1-3- خوارزميات تحديد الموقع(Localization Algorithms) :

- **خوارزميةRang-Free Anchor-Free methods MDS :**

تشكل كل عقدة حساس خريطة محلية لتوزع عقد الحساسات الموجودة على بعد قفزتين منها، بالاعتماد على عمليات الاتصال الرئيسية التي تجري بينها. ثم تتواصل كل الحساسات مع بعضها لتجمع هذه الخرائط المحلية و تشكل الشكل النهائي للتموضع العام للشبكة. تعاني هذه الخوارزمية من صعوبة تشكيل الخريطة النهائية، بالإضافة لعدم الدقة في تحديد الموقع الدقيق للحساسات وهي تستخدم خوارزميات DV(Distance ,hop) لتشكيل مصفوفة المسافة.[8]

- **خوارزمية (LPD) Local Position Discovery :**

الهدف من هذه الخوارزمية هو بناء مخطط محلي لأماكن توضع الحساسات ضمن كل عنقود (cluster) و ذلك انطلاقا من عقدة البوابة في كل عنقود.[9]

- **خوارزمية تموضع مع عقد بيكون متحركة(LMB) Localization with Mobile Beacon :**

يتم تحديد مواقع جميع العقد في الشبكة بالاعتماد على عقدة واحدة متحركة (MB) مزودة بمستقبل (GPS) ، تقوم ببث رسائل في الشبكة تتضمن إحداثياتها، وعندما تستقبل العقدة المجهولة ثلاث رسائل من العقدة المتحركة تقوم بحساب موقعها[10].

2- الدراسات المرجعية:

الرقم	المؤلفين	عام النشر	عنوان البحث	الإيجابيات	المساوئ
1	**Zhikui Chen**	2010	**A practical Localization Algorithm based on WSN**	الدقة في تحديد موضع العقد بناء على طريقة خطأ التربيعات الأصغرية	**زمن المعالجة وكلفة الحساب**
2	**Je Wu**	2019	**Improved DV-Hop Localization algorithm based on RSSI**	استخدام معامل الخطأ في كل مرحلة لتصحيح تقدير المسافة في المرحلة التالية	**ضعف أداء الخوارزمية في حال وجود حركية في بعض العقد المجهولة الموضع**
3	**Nath and Patwari**	2018	**An effective localization algorithm using RSSI**	آلية حساب الاستطاعة المستقبلة في كل عقدة واستخدامها لتحديد الموضع غير معقدة	**أن تكون المسافة بين العقد حدية بالمقارنة مع استطاعة الإرسال لكل عقدة**
4	**Allen and Gaura**	2009	**Evaluation of localization Algorithms**	حساب متوسط الخطأ يعطي فكرة جيدة عن دائرة تموضع العقدة	**هذه الطريقة غير فعالة في إعطاء موضع دقيق للعقد ضمن الشبكة**
5	**Shi and Fang**	2017	**A weight based DV-HOP improved localization algorithm**	تحديد موضع العقد باستخدام طريقة الانحراف في التموضع حيث يتم الاستفادة من المسافة المعلومة بين العقدة والعقد الرئيسية وبين العقد نفسها	**تحديد موضع العقد الرئيسية يتم عادة باستخدام نظام تتبع GPS المواقع والذي قد يكون غير فعال بحال وجود عوائق طبيعية**

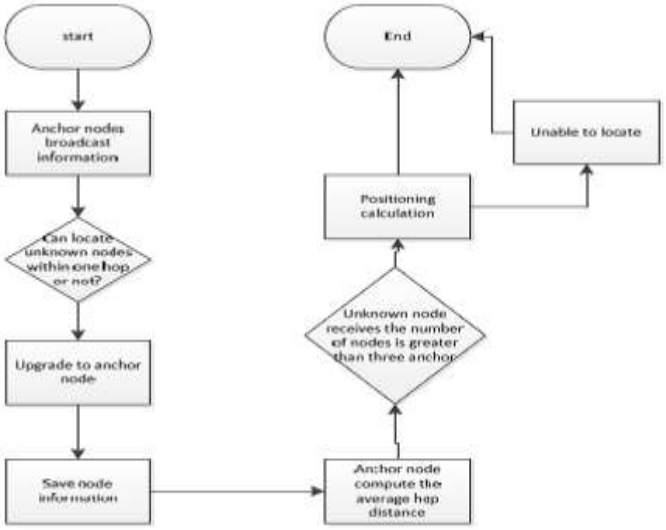
النتائج والمناقشة:

تعتبر برمجيات الـ NS2 مناسبة لمحاكاة تخطيط وعمل شبكات الحساسات اللاسلكية بنوعيها ثنائي وثلاثي الأبعاد، حيث تتكون هذه البرمجيات من مكتبات متعددة تسمح بمحاكاة شبكات الحساسات اللاسلكية.

تتضمن عملية المحاكاة في البرنامج تمثيلاً لإحداثيات العقد اللاسلكية بالمتحولات _X ,_Y في حالة الشبكات ثنائية الأبعاد، يضاف إليها الإحداثيات _Z بحالة الشبكات ثلاثية الأبعاد. تم إرسال حزم بيانات بسرعة 1000 بايت كل ثانية (حالة عملية) للحفاظ على معدل إرسال ثابت وفق المعيار (801.11) . تم اعتبار مجال التغطية لكل عقدة 60 م عبر فضاء الانتشار الحر، وتم استخدام بروتوكول التوجيه Dynamic Source Routing (DSR) للقيام بعملية توجيه البيانات، بحيث تكون عناوين العقد من المصدر الى الوجهة موجودة ضمن الحزم المرسلة . يتم الإرسال بين العقد بشكل متتالي إلى أن نضمن الإرسال للعقدة النهائية عبر إجرائيتين أساسيتين:

- حفظ المسار (Route Maintenance) .
- استكشاف المسار (Route Discovery).

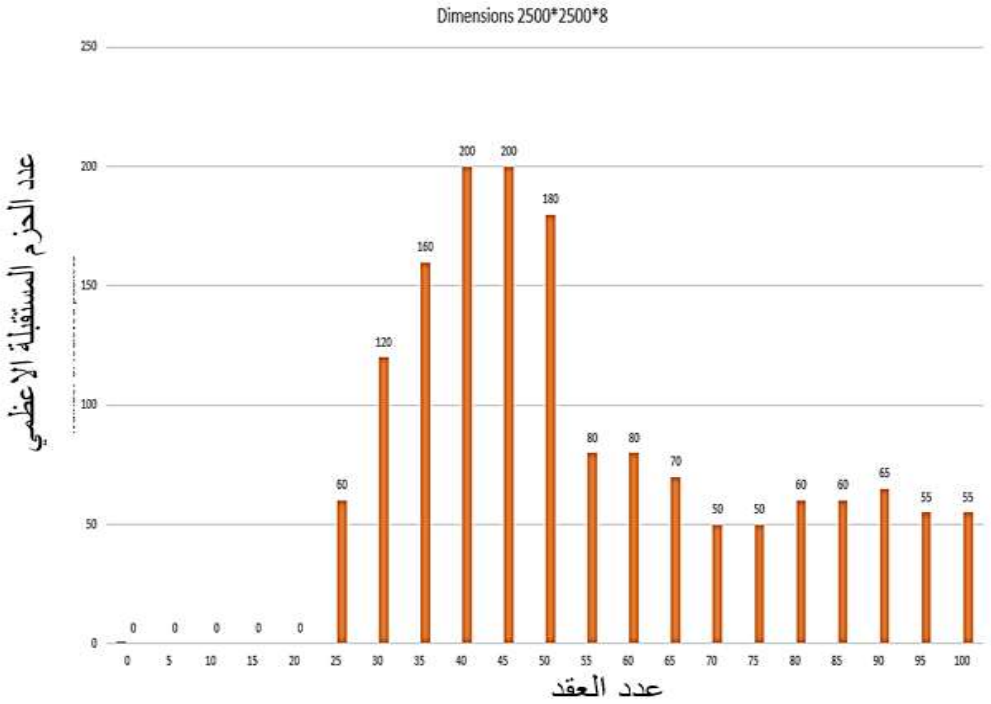
يعبر الشكل 4. عن المخطط العام للخوارزمية المستخدمة DV–HOP:



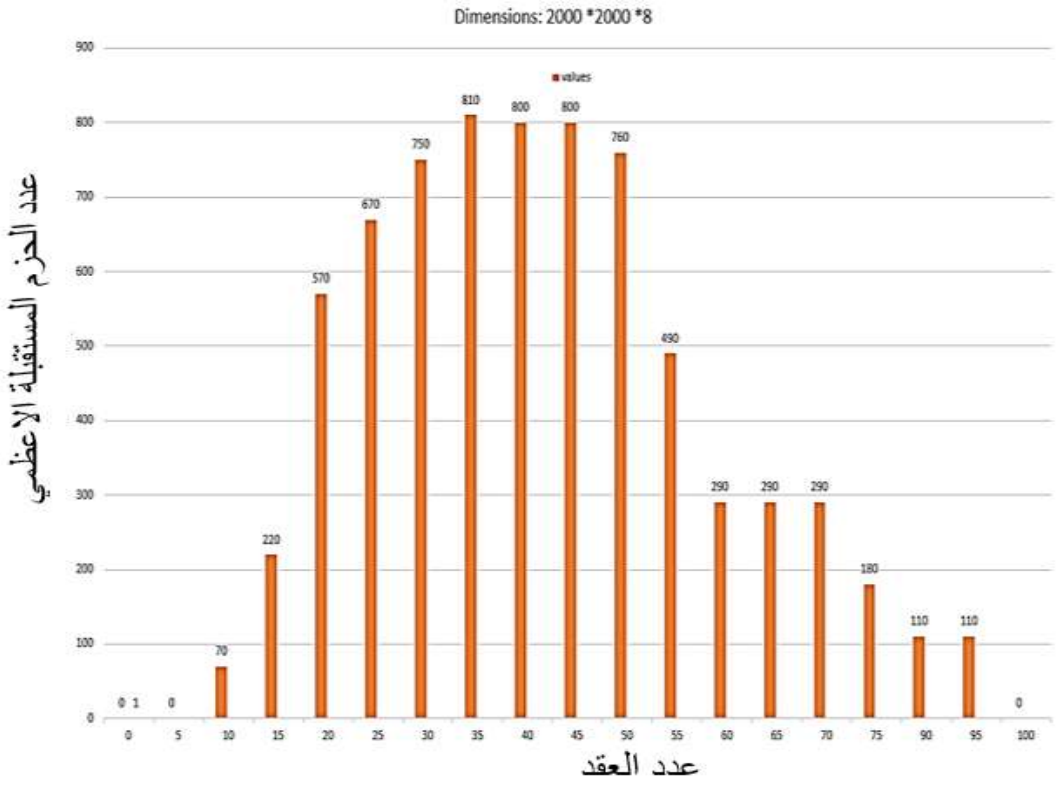
الشكل(4). المخطط العام للخوارزمية

تقوم العقدة المرساة ببث عام(Broadcast) ، وعندما تستقبل عقدة أو أكثر هذه الرسائل يقوموا بدورهم بإرسالها إلى بقية العقد،و يمكن، عبر عدد القفزات التي استغرقتها الحزمة لتقوم بإيصالها للعقدة، تحديد موقعها الأولي وهكذا حتى نحصل على ثلاث عقد معلومة الموقع بشكل تقريبي، و نحدد مواقع باقي العقد في الشبكة بالاعتماد على المواقع الثلاثة وعدد القفزات.قمنا بتصميم واختبار 3 نماذج لتموضع العقد ضمن هذه البنية وهي:

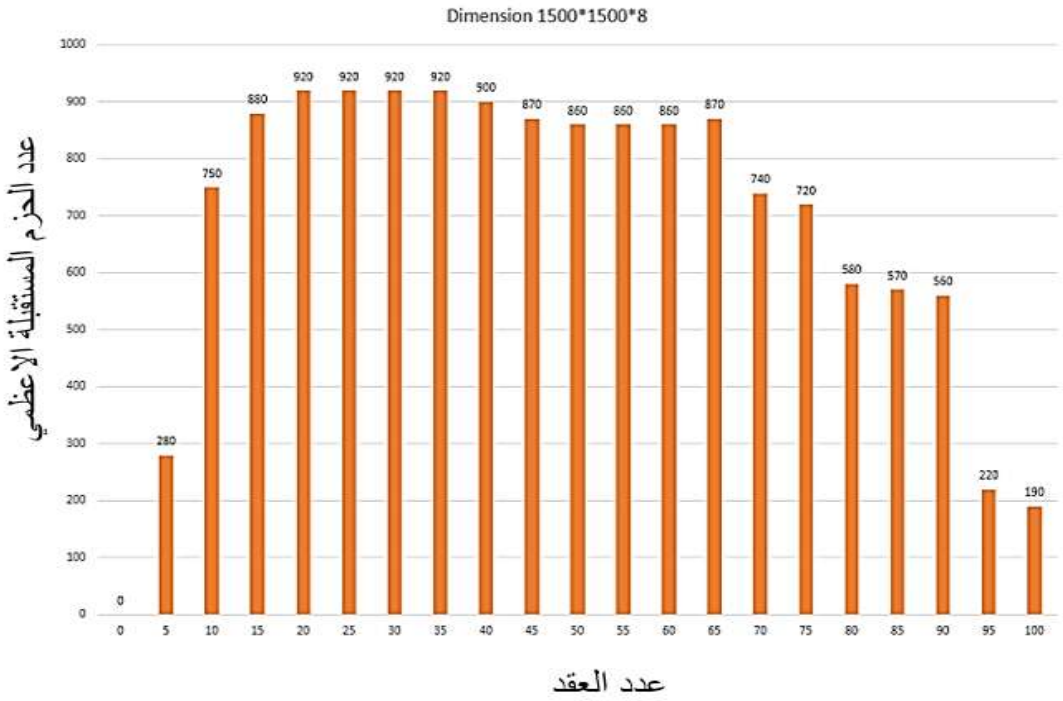
- **تجربة بنية المكعب:** تم زيادة عدد العقد وتغيير أبعاد الشبكة من خلال ثلاث سيناريوهات: البارمترات المقاسة ،عدد الحزم المستقبلة الأعظمي وعدد العقد الأدنى عبر الأشكال 5، 6، 7:



الشكل (5). السيناريو الأول



الشكل (6). السيناريو الثاني



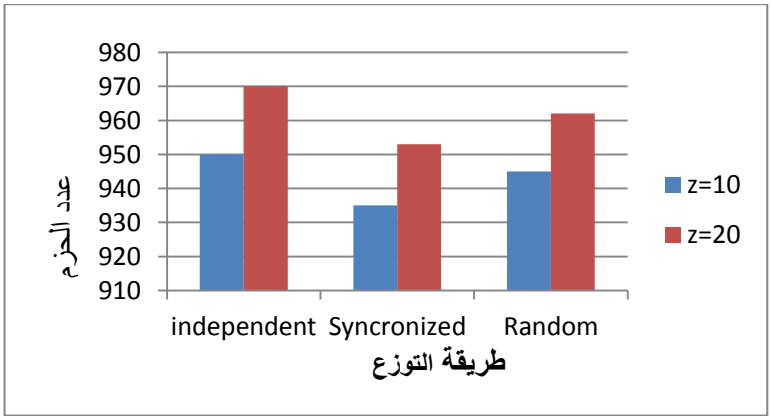
الشكل (7). السيناريو الثالث

حسب القيم التالية:

السيناريو	أبعاد الشبكة	عدد الحزم المستقبلة الاعظمي	عدد العقد الادنى
الأول	8*2500*2500	200	40
الثاني	8*2000*2000	810	35
الثالث	8*1500*1500	920	20

نلاحظ أن السيناريو الأفضل هو بحالة استقبال أكبر عدد من الحزم (920)، مع أقل عدد من العقد (20)، وفي هذه الحالة كانت أبعاد الشبكة الأصغر(8*1500*1500) هي الأفضل مقارنة مع الحالات الأخرى. نلاحظ كلما كان حجم الشبكة أكبر فإننا بحاجة لعدد عقد أكثر لبناء طريق التسيير من المرسل إلى المستقبل.

- **تجربة بنية المكعب (دراسة تأثير توزع العقد)** : معايير التقييم هي عدد الحزم المستقبلة الأعظمي و طريقة التوزع.



الشكل (8). مخطط توزع العقد

عبر القيم التالية:

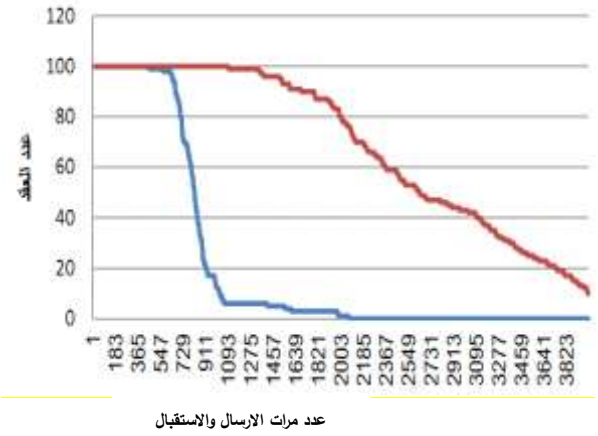
توزع العقد	عشوائية	مرتبطة	متناظرة
عدد الحزم المستقبلة الاعظمي(z=10)	945	950	935
عدد الحزم المستقبلة الاعظمي(z=20)	962	970	953

نجد أن التوزع المتزامن Synchronized أفضل من حيث عدد الحزم المستقبلة الأعظمي، لكون التوزع العشوائي Random ضمن المكعب قد يؤدي لتموضع بعض العقد في زوايا المكعب مما سيحد من مشاركتهم في إنشاء طريق لإيصال البيانات من العقدة المصدر إلى الوجهة، وفي التوزع المستقل Independent قد تقترب من بعضها ضمن أية مساحة من البنية.

- **مقارنة أداء الشبكة في البنية المنتظمة السداسية والكروية:**

نستخدم القيم التالية:

(عدد مرات الارسال والاستقبال, عدد العقد)	**(عدد مرات الارسال والاستقبال, عدد العقد)**
البنية المنتظمة السداسية	**البنية المنتظمة الكروية**
تموت العقد في الشبكة عند القيمة 2913 على المحور الافقي (عدد مرات الارسال والاستقبال) وبالتالي يبدأ اداء الشبكة بالانخفاض	تموت العقد في الشبكة عند القيمة 911 على المحور الافقي (عدد مرات الارسال والاستقبال) وبالتالي يبدأ اداء الشبكة بالانخفاض

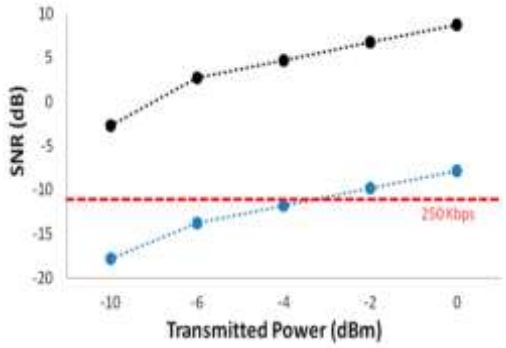


الشكل (9) مقارنة اداء الشبكة في البنية المنتظمة السداسية والكروية

البارمترات المقاسة:

النتيجة:

اداء الشبكة في البنية السداسية افضل من الاداء في الكروية. مقارنة نسبة الإشارة الى الضجيج في البنية المنتظمة(السداسية والكروية):



الشكل (10) مقارنة نسبة الإشارة الى الضجيج في البنية المنتظمة(السداسية والكروية)

اللون الأسود يعبر عن الشبكة السداسية والازرق للكروية

SNR(dB),Transmitted (power(dBm)) البنية الكروية	**SNR(dB),Transmitted (power(dBm))** **البنية السداسية**
(−13 ,−6)	(3 ,−6)
(−11 ,−4)	(5 ,−4)
(−10 ,−2)	(9 ,−2)

نلاحظ ان نسبة الاشارة الى الضجيج في البنية السداسية افضل منها في البنية الكروية

الاستنتاجات والتوصيات:

نلاحظ من التجارب أنه بزيادة عدد العقد وتقليل المساحة نحصل على أكبر عدد من الحزم المستقبلة لأن الاتصال بين العقد أقوى مع نقصان المسافة. كما أن التوزع المتزامن للعقد يعطي أفضل أداء لناحية توفير الطاقة نتيجة للتخفيف من حجم الحزم التي يتم إرسالها. أما من ناحية البنية فإن البنية المنتظمة السداسية أفضل من البنية الكروية من حيث استهلاك الطاقة ومن حيث نسبة الاشارة الى الضجيج.

يمكن في الدراسات المستقبلية إدخال الضجيج على الوصلة الراديوية بين العقد ومراقبة النتائج وحساب نسبة خطأ البت Bit Error Rate (BER) ، ومقارنة أعمار عقد الشبكة في هذه الحالة. إضافة إلى ذلك، يمكن الانتقال إلى مفاهيم أوسع تتعلق بجودة الخدمة QoS مع استخدام بروتوكولات ذات تطبيقات أوسع في شبكة الحساسات اللاسلكية ثلاثية

الأبعاد. يمكن أيضاً اعتماد خوارزمية جديدة تقوم على الدمج بين عدة خوارزميات مستخدمة حالياً لمحاولة الاستفادة من ميزات كل منها في إطالة عمر الشبكة وتوفير الطاقة، واستخدام مفهوم الترابط Correlation بين العقد للتنبؤ بموضع عقدة ما اعتماداً على مواقع بعض العقد المجاورة.

References:

1. AMMARI, HM. DAS, SK, . *Coverage and connectivity in three-dimensional wireless sensor networks using percolation theory*. IEEE Trans. Parallel Distrib.Syst. (IEEE TPDS). 2009; 20(6).
2. CHAKRABARTY, K. *Sensor deployment and target localization based on virtual forces*. INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications. IEEE Societies, vol. 2. IEEE, 2003, pp. 1293–1303.
3. . AKYILDIZ, I. F. POMPILI ,D and Melodia,T. *Underwater Acoustic Sensor Networks: Research Challenges, AdHoc* Networks Journal, (Elsevier), March 2005.
4. ROMER, K. MATTREN, F. *The Design Space of Wireless Sensor Networks*. IEEE Wireless Communications, Dec. 2004.
5. BOUKERCHE. *Algorithms and Protocols for Wireless, Mobile Ad Hoc Networks*, John Wiley & Sons, Inc., 2009
6. US National Research Council report ("Embedded Everywhere): *the use of wireless sensor networks (WSN) could well dwarf previous milestones in the information revolution*.
7. Puccinelli, D and Haenggi ,M. *WSN: Applications & Challenges of Ubiquitous Sensing* IEEE CAS Magazine, Sep. 2005
8. SHRIVASTAVA, A. BHARTI, P. *Localization Techniques for Wireless Sensor Network*. International Journal Of Computer Application India, Vol.116,No.12,2015, 13-15
9. WANG,Q.H; LU,T.T; LIU,M.L; WEI,L.F. *Research On The Wsn Node Localization Based On TOA* .journal of applied mathematics china,2013,3.
10. SINGH,P;SHARMA,K. *Optimized Localization Approach For Non-Stationary Nodes Wireless Sensor Network*. International Journal of Engineering Trends And Technology India, Vol.31,No.3,2016,126-128.

-