

تحديد العقد الحدودية واتصالها معاً في النشر العشوائي في شبكات الحساسات اللاسلكية

المهندس محمد رستناوي

الدكتور بسيم عمران

مهندس في قسم التحكم الآلي والحواسيب

أستاذ مساعد في قسم هندسة التحكم الآلي والحواسيب

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة البعث

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة البعث

ملخص البحث

تستخدم شبكات الحساسات اللاسلكية في نطاق واسع من التطبيقات، مثل مراقبة البيئة واكتشاف الأحداث وما إلى ذلك. تهدف هذه التطبيقات إلى جمع المعلومات حول ظاهرة أو حدث معين. لكن من المهم معرفة خواص العقد المنشورة وتوزعاتها وخصوصاً في حالة النشر العشوائي وذلك لتشكيل سويات محددة للعقد وتحديد مسارات فيما بينها.

يفرض هذا البحث خوارزمية "سوية طاقة الإرسال المتكيفة حسب النشر العشوائي للعقد" والتي تعمل على تقليل طاقة الإرسال للعقد وإطالة عمر الشبكة.

من المهم تحديد العقد وتصنيفها في الشبكة أي تكون في حدود الشبكة المنشورة أو في المركز، والذي يساعد في تقسيم الشبكة المنشورة إلى سويات مختلفة والذي يعطي إمكانيات متعددة للشبكة.

إن الخوارزمية المقدمة تعتمد على التغيير في سوية طاقة الإرسال بشكل تكيفي حسب النشر العشوائي من أجل تقليل استهلاك الطاقة وإطالة عمر الشبكة، وذلك عند النشر في البيئة المعادية والقاسية التي لا تسمح بإعادة العقد أو تغيير مواضعها. تتضمن الخوارزمية المقدمة تحديد السويات الطاقية نسبة للنشر العشوائي وتحديد المسارات المحتملة في الشبكة وذلك للوصول لترابط عالي بين العقد، وأيضاً تحدد العقد الأكثر أهمية التي خروجها من الشبكة يؤدي إلى إنهاء الشبكة، وتعمل الخوارزمية على تحديد عقد الحواف أو العقد الأقل أهمية في النشر، كذلك تحدد المناطق الأضعف تغطية والتي تمثل فجوات في الشبكة ومنه تحدد العدد اللازم للنشر في المراحل التالية.

بينت نتائج الدراسة أن الخوارزمية المفروضة فعالة في كل ماسبق ذكره، ونركز في هذا البحث على العقد الحدودية وكيفية تحديدها، والعمل على اتصال عقد الحدود مع بعضها، وتعريف المتغير α الذي يزيد من كثافة عقد الحدود لتحقيق الاتصال فيما بينها.

الكلمات المفتاحية:

شبكات الحساسات اللاسلكية - التحكم في طاقة الإرسال - التحكم في طاقة الإرسال بشكل تكيفي - النشر العشوائي - عقد الحواف أو الحدودية.

Identification of boundary nodes and their connection together in random deployment in WSN

Dr. Bassim Oumran, assistant professor in the Computer & Automation section of Electric & Mechanics Engineering faculty- AL-Baath University.

Eng. Muhammad Rastanawi, Computer & Automation Engineer in Electric & Mechanics Engineering faculty- AL-Baath University.

Abstract

Wireless sensor networks are used in wide range of applications, such as environmental monitoring, event detection, etc. These applications aim to collect information about a particular phenomenon or event. However, it is important to know the properties of deployed nodes and their distributions, especially in the case of random deployment, in order to form specific levels of the nodes and to identify paths between them.

The researcher has developed an algorithm "Adaptive Transmission Power Level According to Random Nodes Deployment", which reduces the transmission power of nodes and extends the lifetime of the network.

It is important to identify and classify network nodes, so that they are in the boundary of the deployed network or in the center, which helps in dividing the deployed network into different levels which gives multiple possibilities to the network.

The presented algorithm relies on adaptively changing the transmission power level according to random deployment in order to reduce power consumption and extend network life, when deployed in a hostile and harsh environment that does not allow nodes to be repositioned or relocated. The presented algorithm includes determining the energy levels relative to random deployment and determining the possible paths in the network in order to reach a high interconnection between the nodes, and also identifies the most important nodes whose exit from the network leads to the collapse of the network, and the algorithm works to identify the border nodes or the least important nodes in the deployment, as well as determine Weakest coverage areas, which represent gaps in the network and from which determine the number needed to deploy.

The results of the study showed that the imposed algorithm is very effective in all of the above, and we focus in this research on the boundary nodes and how to define them, working on the connection of

the boundary nodes with each other, and defining the variable α , which increases the density of the boundary nodes to achieve communication among them.

Keywords- WSN; TPC; ATPC; Random deployment; Boundary node.

1- مقدمة

بفرض لدينا مساحة عمل أو منطقة مستهدفة Target Area (تسمى أيضاً في بعض المراجع region of intrest (ROI) أو field of intrest (FOI) يراد نشر مجموعة من الحساسات عليها، لتكن محددة الأبعاد ذات مساحة D (المنطقة عبارة عن مربع ثنائي البعد)، وبحيث تعتبر هذه المساحة بيئة صعبة الوصول من قبل الإنسان لذا لا نستطيع الاعتماد على التوزيع المحدد للحساسات أو على توزيع الحساسات وفق مخطط مسبق عملياً. في هذه الحالة يكون خيار النشر العشوائي للعقد ضمن بيئة العمل هو الخيار متاح.

تجمع عقد الحساسات المعلومات وتعيد توجيهها نحو عقدة تجميع البيانات sink. عادة تكون العقد محدودة الموارد من حيث الطاقة والقدرة الحاسوبية وسعة التخزين ونطاق الاتصال، الخ. عقد WSN تعمل بالبطارية وقد لا يكون استبدال البطارية ممكناً بسبب التضاريس القاسية والظروف البيئية القاسية [1] لكن عقدة تجميع البيانات بعكس ذلك غالباً.

إن هدف الخوارزمية المفروضة هو العمل على تأمين الإتصال الكامل بين العقد بعد النشر العشوائي ويتم ذلك من خلال التغيير في سويات طاقة الإرسال للحساسات وإعادة نشر عقد جديدة فوق النشر الأولي لتحسين الاتصالات بين العقد وتخفيض طاقة البث للعقد، رغم تزايد التكلفة بزيادة النشر للعقد إلا أنه يتم السعي للتوصل لاتصال كامل قدر الإمكان بأقل عدد من العقد الجديدة لتحقيق الهدف المطلوب بأن تعمل الشبكة باتصال كامل ما أمكن حتى لو زادت التكلفة ولم يصل زمن التشغيل للشبكة إلى الزمن المراد، بحيث بمجرد النشر يجب تأمين عمل الشبكة بأي طريقة، لأنه لا يمكن استرجاع العقد بعد عملية النشر.

يتم تحقيق تغطية واتصال أفضل من خلال نشر أقل عدد عقد حساسات إضافية، للحصول على الدرجة المطلوبة من الاتصال والتغطية، مع مراعاة الحفاظ على استهلاك طاقة بالحد الأدنى [5].

تعتبر إمكانية تحديد العقد وخواصها بالنسبة للشبكة قضية مهمة لطريقة التعامل مع العقد ضمن الشبكة، والتي تساعد في تحديد حدود الشبكة والفجوات في التغطية. قد يكون تحديد مجموعة من العقد في المستوى أو تغطية المنطقة التي تم إنشاؤها بهذه الطريقة أمراً مهماً للعديد من التطبيقات. قد نحتاج إلى إنشاء حدود لأغراض مختلفة: التعرف على المنطقة الخاضعة للمراقبة في منطقة عسكرية، تقييد منطقة مصابة بوباء ما، تحديد منطقة حريق، إلخ. [6]. هناك طرق مختلفة لإسناد شكل إلى مجموعة معينة من النقاط. قد يكون مفهوم الحدود ذا أهمية خاصة، وهو مفهوم لم تتم دراسته على نطاق واسع حتى الآن في نظرية الرسم البياني [6]. أعطى التطور الأخير لتكنولوجيا الحساسات اللاسلكية إمكانية معالجة التطبيقات الجديدة والمهمة: مثل تأمين حدود بلد أو منطقة خطرة أو منطقة عسكرية عن طريق شبكات الاستشعار اللاسلكية.

في حالة شبكات الاستشعار اللاسلكية (Wireless Sensor Networks (WSN)، فإن الهيكل العام للرسم البياني غير معروف، لأنه غالباً ما يتم نشر عقد المستشعر بشكل عشوائي. واحدة من المشاكل الهامة في هذا المجال هي البحث عن العقد الحدودية [7]. في النشر العشوائي، يكون تجنب الثوب (منطقة لا توجد بها نقطة داخل نطاق الاستشعار من العقد) أمراً صعباً للغاية [8]. لذا يجب تطوير تقنيات لكشف العقد الحدودية للشبكة ككل أو للعقد على حدود الفجوات داخل الشبكة.

قد يؤدي التلغ المادي و/أو استنفاد طاقة العقدة إلى فتحات تغطية في شبكات WSN [9]. تتكون خوارزميات اكتشاف الحدود أساساً من ثلاثة أنواع - خوارزميات تعتمد على الطوبولوجيا، وخوارزميات تعتمد على الهندسة الحسابية، وخوارزميات تعتمد على النهج الإحصائي [10]. إن الطريقة التي تنتمي إليها المنهجية الموصوفة في هذا البحث هي الإعتماد على الطوبولوجيا.

2-هدف مشروع البحث

يهدف هذا البحث إلى تحديد العقد التي تمثل حدود الشبكة وفجوات التغطية. وكذلك زيادة كثافة العقد الحدودية من دون معرفة الإحداثيات للعقد أو من دون إرفاق أجهزة إيجاد الموضع مع العقدة للوصول لاتصالات مباشرة بين عقد الحدود وفق سويات محددة.

3- أهمية البحث

تتمثل أهمية البحث في كون الخوارزمية تستطيع إيجاد العقد الحدودية بطريقة غير معقدة تعتمد على التغير في سوية طاقة الإرسال، حيث تعتبر العقد الحدودية في شبكة الاستشعار اللاسلكية ضرورية للغاية نظراً للوظائف الحرجة التي تتطوي عليها، مثل معالجة ثقب التغطية، والتي تنتمي إلى المشكلات الرئيسية لجودة الخدمة QoS في الشبكة.

نظراً لأن دمج أجهزة إيجاد الموضع على أجهزة الاستشعار يعني عادةً تكلفة أعلى بكثير، فغالباً ما تكون الإحداثيات غير متوفرة في الشبكات منخفضة الميزانية. وغالباً ما يكون من الصعب ضمان توزيع العقد في أماكن محددة عندما نستخدم النشر العشوائي للعقد. لذلك لا يزال تحديد العقد الحدودية بدون إحداثيات يواجه صعوبات [11].

4- مواد وطرائق البحث

اختبرت الخوارزمية موضوع البحث على مسائل اختبارية متعددة عشوائية حيث تم نشر عقد بأعداد مختلفة عشوائياً ضمن المنطقة المدروسة، التي يراد مراقبتها من قبل الحساسات. وتم تطبيق الخوارزمية المفروضة وذلك باستخدام الدراسة النظرية للعديد من عمليات النشر العشوائية وتم ذلك باستخدام برنامج GeoGebra وأعيدت الدراسة بالمحاكاة لمجموعة من النشورات العشوائية للعقد باستخدام التطبيق المختص في مجال شبكات الحساسات اللاسلكية CupCarbon 5.0 [12].

5- النشر العشوائي والمحدد لشبكات الحساسات اللاسلكية

في النشر العشوائي، تنشر الحساسات فوق منطقة المراقبة لاستشعار المنطقة المستهدفة. يكون النشر العشوائي دائماً ويستخدم عندما لا يكون التدخل البشري ممكناً بسهولة في المنطقة المستهدفة وعندما تكون المعلومات حول المنطقة غير معروفة سابقاً مثل حرائق الغابات، ومناطق الكوارث، وتلوث الهواء [13]، وساحات القتال... الخ، يمكن أن يكون الهدف المراد استشعاره في منطقة الاستشعار مغطى بشكل قليل أو مغطى بشكل كثيف عند النشر العشوائي لعقد الحساسات. عندما تتم تغطية المنطقة المستهدفة بالمستشعرات بشكل مكثف، تصبح مشكلات مثل إدارة الاتصال واكتشاف الأعطال أكثر تعقيداً [14].

يتم تحقيق الاتصال الكامل Full connectivity إذا كان كل زوج من عقد الحساسات يتواصل ويتبادل معلوماته بشكل ثنائي الاتجاه. يتم تحقيق هذا الشرط في WSN لنقل البيانات بشكل موثوق من خلال العقد مباشرة أو بواسطة العقد الأخرى [15].

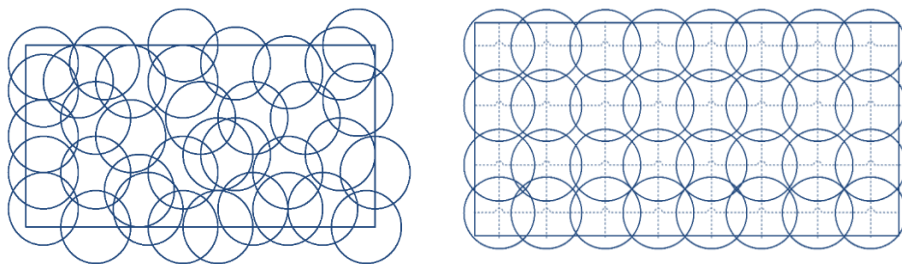
يتم التعامل مع النشر المحدد للحساسات في البيئة الأمنة أو الودية friendly environments [2]. يتم تخفيض التكلفة بشكل كبير لأن نشر العقد يتم يدوياً ويستخدم عدد أقل من عقد الاستشعار [3،16،4].

إن هدف الخوارزمية المفروضة هو العمل على تأمين الإتصال الكامل ما أمكن بين العقد بعد النشر العشوائي ويتم ذلك من خلال التغيير في سويات الطاقة للحساسات وهو ما يركز على مفاهيم Transmision Power Control (TPC) وإعادة نشر عقد جديدة فوق النشر الأولي لتحسين الاتصالات بين العقد وتخفيض طاقة البث للعقد، المنهجية المستخدمة في إعادة النشر لم تستخدم سابقاً في أي من الأبحاث بشكل عملي لتحسين الشبكة، رغم تزايد التكلفة بزيادة النشر للعقد إلا أنه يتم السعي للتوصل لاتصال كامل قدر الإمكان بأقل عدد من العقد الجديدة لتحقيق الهدف المطلوب بأن تعمل الشبكة باتصال كامل ما أمكن حتى لو زادت التكلفة ولم يصل زمن التشغيل للشبكة إلى الزمن المراد من الشبكة.

يمكن تحديد مسألة النشر (Deployment problem) في عقد أجهزة الحساسات اللاسلكية بحيث تقوم الشبكة بعملها على أكمل وجه. يتم نشر العقد في منطقة معينة بطريقتين هما: النشر المحدد (deterministic deployment) والنشر العشوائي random deployment [17].

يُشار أحياناً إلى النشر المحدد على أنه نشر الشبكة أو النشر الشبكي. حيث يتم تحديد إحداثيات العقد داخل المنطقة المدروسة مسبقاً قبل النشر الفعلي للعقد. بحيث تعمل الشبكة بشكل فعال وبأقل تكلفة ممكنة مع المحافظة على أطول عمر عمل لشبكة الحساسات. إن بعض التطبيقات لا تسمح باستخدام النشر المحدد بسبب كون البيئة صعبة الوصول من قبل الإنسان أو أن تحقيق عملية النشر المحدد تكون معقدة ومكلفة. في هذه الحالة يكون النشر العشوائي هو الخيار المتاح، حيث يتم نشر العقد بشكل

عشوائي بطريقة تفتقر إلى أي مبدأ واضح للتنظيم في المنطقة المدروسة دون أي تحديد مسبق لموضع العقد. ومن الواضح أن أداء الشبكة WSN مع عقد الحساسات المنتشرة عشوائياً سيكون أقل من أدائها مع عقد الحساسات المنتشرة بشكل محدد [18]. هذا يشكل تحدياً صعباً لتحسين أداء الشبكة مع مراعاة عدة عوامل يتميز بها التطبيق المراد من الشبكة. يشير الشكل 1 إلى التوزيع المحدد والنشر العشوائي للعقد في WSN.



الشكل 1: التوزيع المحدد في WSN و النشر العشوائي في WSN

6-دراسات مرجعية

في الاتصالات اللاسلكية، تعد طاقة الإرسال عاملاً رئيسياً لاستهلاك الطاقة. تعمل منهجية التحكم في طاقة الإرسال TPC على تقليل طاقة الإرسال إلى أدنى حد ممكن كافي للحفاظ على جودة الاتصال [19,20]. درس المرجع [21] التحكم بطاقة الإرسال بالإضافة إلى معدل نقل البيانات أيضاً وهو عامل رئيسي يؤثر على استهلاك الطاقة. اقترح المرجع [22] خوارزمية للتحكم في قدرة الإرسال الموفرة للطاقة ETPC والتي تستند إلى تقدير القناة اللاسلكية واستخدمت هذه الخوارزمية الموفرة للطاقة لمعالجة إشارة مخطط كهرباء القلب التي يمكن ارتداؤها في تطبيقات الرعاية الصحية. كذلك قدم المرجع [23] التحكم في طاقة الإرسال متعدد القنوات التكيفي للأجهزة الصناعية اللاسلكية. بينما ركز المرجع [24] بشكل أساسي على خوارزمية تخصيص القنوات المشتركة joint channel allocation والتحكم في الطاقة. بينما ركز المرجع [19] على على تخصيص الموارد لتخصيص الفجوة الزمنية المشتركة وتخصيص القنوات والتحكم في الطاقة لشبكات استشعار لاسلكية متعددة القنوات MRMC WSN، والذي اعتمد على خوارزمية Partical Swarm Optimaization PSO متعددة الأهداف وحسنها للوصول للحل الأمثل. قام المرجع [20] بتقديم خوارزمية جينية فعالة للتحكم في طاقة

الإرسال على نطاق واسع للشبكات اللاسلكية الكثيفة والقوية في البيئات الصناعية القاسية، تم تصميم خوارزمية جينية فعالة، تسمى GATPC لحل نموذج TPC Transmasion Power Control في IWLANS. قدم المرجع [25] مقارنة بين خوارزمية التحكم في معدل نقل الفيديو وخوارزميات التحكم في قدرة الإرسال، حيث قام بتثبيت طاقة الإرسال ودرس التغيير بمعدل نقل البيانات الفيديوية وكذلك بتثبيت معدل نقل البيانات والتغيير في سوية طاقة الإرسال، حيث صنف الخوارزميات المقترحة ضمن هذا المجال على أنها موفرة للطاقة وتطيل بعمر المدخرات وذلك للتطبيقات الطبية في شبكات مستشعرات الجسم اللاسلكية wireless body sensor networks. وناقش المرجع [27] تقنية إدارة الطاقة الديناميكية لتعزيز كفاءة الطاقة. درس المرجع [28] إستراتيجية التحكم في قدرة الإرسال لشبكات الاستشعار اللاسلكية تحت الماء. قام المرجع [29] بتقديم تقنية جديدة للتحكم في طاقة الإرسال مع مراعاة بيئة الخبو الراديوية الواقعية، تعتمد التقنية المقترحة على مرشح كالمان الذي يقدر بشكل متكرر ويتنبأ بقيم مؤشر قوة إشارة الراديو المستقبلية RSSI، كما قدم مقارنة بين تقنيات التحكم في طاقة الإرسال التكيفية. يوجد العديد من الأبحاث درس التغيير في طاقة الإرسال إما وفق متطلبات الشبكة وغير تكيفي [30,31,32,33,34] كذلك يوجد أبحاث درست التغيير في سوية الطاقة بشكل تكيفي، قدم المرجع [35] منهجية ATPC التحكم في قدرة الإرسال التكيفي للعثور على مستوى الطاقة الأكثر ملاءمة للعقد. قدم المرجع [36] خوارزمية تكيفية AODTPC من أجل لضبط مستويات قدرة الإرسال لعقدة مستشعر من خلال دمج التغييرات الواقعية لبيئة الانتشار الراديوي من خلال استخدام مرشح كالمان. قدم المرجع في [37] دمجاً بين تقنية التوجيه APCEER والتحكم بطاقة الإرسال، من أجل تقليل التداخل بين نطاقات الإرسال للعقد. قام المؤلفون في المرجع [38] بتقديم تقنية للتحكم بطاقة الإرسال باستخدامات الشبكات العصبونية (ANN) والتحكم الضبابي (FLC). قم الباحث في المرجع [39] بالبحث في إمكانية تطبيق التحكم في طاقة الإرسال للتخفيف من التداخل في شبكات الحساسات اللاسلكية. حسن الباحث في المرجع [40] التنبؤ بطاقة الإرسال التكيفية من حيث الدقة وفعالية الطاقة وسهولة الإعداد. قدم المرجع [26]

تقنية معتمدة على التعلم الآلي للوصول بالعقد اللاسلكية إلى أدنى مستوى ممكن من طاقة الإرسال، وبالتالي تحقيق متطلبات الجودة للشبكة ككل. قدم المرجع [6] العديد من الأفكار لدراسة حدود الشبكة وتحقيق منحنيات محددة واتصالات محددة وطور خوارزمية لتحديد حدود الشبكة.

تعد الخوارزميات القائمة على الطوبولوجيا مناسبة لتحديد العقد الحدودية وفجوات التغطية باستخدام معلومات الاتصال الخاصة بالعقد في البيئات التي لا تحتوي على معلومات عن الموقع [41]، حيث لا يوجد حاجة لأجهزة تحديد الموضع لتحديد الفجوات [10]. توجد العديد من الدراسات المباشرة وغير المباشرة التي تتعلق بالعقد الحدودية والفجوات في التغطية في شبكات الحساسات اللاسلكية. قدم كل من Klein و Funke [42] عن خوارزمية موزعة للكشف عن الثقوب التغطية في الشبكة. في هذه الخوارزمية، يتم تحديد العقد الحدودية بناءً على Localisation of the fragmented outline. اقترح كل من Chu و Ssu [43] خوارزمية يتم فيها إنشاء مخطط الحدود لكل عقدة بناءً على معلومات العقد المجاورة ضمن نطاق من ثلاث قفزات. اقترح المرجع [44] خوارزمية معتمدة على Kamada-Kawai تُستخدم لمسألة اكتشاف العقدة الحدودية، والتي تكون قادرة على محاذاة مواضع العقدة مع تحقيق حساسية عالية ونوعية ودقة في إنتاج رسم مرئي من طوبولوجيا شبكة الإدخال. حسن Saukh [45] بنية "الزهرة". ومع ذلك، لا تنطبق هذه الأساليب على أوضاع معينة. اقترح في [46] خوارزمية تستند إلى نظرية التماثل الجبري، ولكنها مع ذلك لا تطبق على شبكات الاستشعار اللاسلكية. اقترح المرجع [47] خوارزمية الاسترداد للفجوات الموزعة والتي تعمل من دون إحداثيات حيث تكون معلومات الاتصال شرطاً أساسياً. في البداية تم الكشف عن فتحة التغطية غير المثلثة باستخدام خوارزمية "3MeSH" (Self-healing Hole Triangular Mesh) DBRA). اقترح المؤلفون في [48] خوارزمية التعرف على الحدود الموزعة DBRA استناداً إلى معلومات اتصال العقدة لتحديد العقد الحدودية المحيطة بالفتحات في شبكات WSN دون استخدام أي معلومات عن الموقع. في المرجع [49] اقترح الباحث خوارزمية موزعة مع معلومات الاتصال فقط لاكتشاف الثقوب غير المثلثية. اقترح [50] نهجاً

موزعاً قائماً على الطوبولوجيا لاكتشاف حدود الفجوة. وحيث تتطلب أن تكون العقد على دراية بإحداثياتها. اقترح المؤلفون [51] خوارزمية يتم توزيعها في الطبيعة وتم استخدامها لاكتشاف حدود الفجوة وكذلك حدود الشبكة بناءً على معلومات اتصال العقدة والمسافة المقطرة بين العقد. اقترح في المرجع [52] نهجاً طوبولوجياً لاكتشاف العقد الحدودية بناءً على معلومات التوصيل لكل عقدة حساس موجودة في قفزة اتصال معينة. اقترح المرجع [53] خوارزمية قائمة على معلومات الاتصال المحلية الموزعة لاكتشاف كل من حدود الفجوة وحدود الشبكة. قدم المرجع [54] منهجية كشف حدود الفجوات الافتراضية على أساس المضلع المحدب ومخطط الانعطاف القائم على تأخير الوقت في شبكات WSN. اقترح المرجع [7] طريقة جديدة تسمى RRLPCN (إعادة التعيين وإعادة التشغيل باستخدام العقدة المتصلة ذات الزاوية القطبية الأقل) والتي تستند إلى خوارزمية LPCN للعثور على الرؤوس الحدودية للرسم البياني الإقليدي. قدم المرجع [9] خوارزمية تحديد عقد الحدود BNC، من خلال مشاركة جميع العقد B-node الموجودة في الحافة للفجوة في عمليات استعادة الثقب، إما عن طريق زيادة قوة الإرسال الخاصة بها أو عن طريق الانتقال نحو منطقة الاهتمام ROI، تسمح خوارزمية BNS للعقد B بالاختيار الذاتي بناءً على معلومات القفزة المتاحة للعقد الأخرى والتي تستخرج منها الميزات الهندسية والإحصائية البسيطة للعقد، وهي خوارزمية غير مركزية. قدم المرجع [8] منهجية لكشف عقد الحدود للفجوات في WSN بشكل موزع باستخدام معلومات المسافة والاتصال فقط. هدف المرجع [55] لكشف وتحديد العقد الحدودية قبل بدء أي عملية توجيه أو أي عملية مراقبة من الشبكة، واعتمد على عدة خوارزميات سابقة لتطوير خوارزمية لتحديد عقد الحدود. قام المرجع [56] بتحسين خوارزمية كشف العقد الحدودية DLPCN. قدم المرجع [11] خوارزمية موزعة لإيجاد حدود الشبكة من دون أي استخدام لأجهزة الموضع.

7- توصيف الخوارزمية المفروضة " خوارزمية سوية طاقة الإرسال المتكيفة حسب النشر العشوائي للعقد "

7.1. توصيف الخوارزمية

يتلخص عمل الخوارزمية المقترحة في مرحلتين هما:

مرحلة النشر والتهيئة:

حيث يتم نشر عدد من العقد ضمن بيئة العمل أو المنطقة المستهدفة، وبحيث تكون طاقة الإرسال الأولية محددة حسب متطلبات التشغيل، بعد عملية النشر تقوم العقد بمعرفة الجوار من خلال زيادة طاقة الإرسال وبحيث تسجل كل عقدة التغيرات في الجوار عند كل طاقة إرسال، تسجل العقدة ما هي طاقة الإرسال التي لا يتغير بعدها عدد الجوار وتستمر بالزيادة إلى الطاقة القصوى، كما تسجل العقدة عند كل مستوى للطاقة متوسط تباعد عقد الجوار عنها (أو وفق بارامترات أخرى)، عند الوصول للطاقة القصوى تقوم كل عقدة بإعلام جوارها عن القيم التي حصلت عليها كذلك تدخل في حلقة انتظار لاقوم رسالة من عقدة تجميع البيانات من أجل أن ترسل هذه أجل الخطوات التالية للخوارزمية. في هذه المرحلة يجب الاهتمام بطاقة العقدة التي يتم الكشف عنها على أكبر عدد من الجوار، والتي قد لا تكون هي الطاقة الأفضل لعمل الشبكة، وذلك حسب متطلبات العمر الزمني لهذه الشبكة. ويمكن اعتبار أن الطاقة الأفضل للعقدة هي الطاقة التي تحقق موازنة ما بين تأمين الأتصال وتغطية المنطقة المراد العمل فيها وتقليل استهلاك الطاقة لأخفض حد من أجل إطالة عمر الشبكة، حيث أن زيادة الطاقة وإطالة عمر الشبكة يعتبران بارامتران متضاريان، من المستحسن تحديد الحد الأدنى لمستوى طاقة النقل الذي يحقق موثوقية الأتصال المطلوبة من أجل توفير الطاقة وزيادة عمر النظام [35]. كذلك يؤدي نقل حزم البيانات ذات المستوى العالي من الطاقة HIGH Power Level إلى تبيد البطارية والتداخل مع العقد المجاورة، وبالتالي يتطلب الإرسال بأدنى مستوى ممكن من قدرة الإرسال التي تضمن نجاح استقبال الحزمة في الوجهة [57]. إن النشر الأولي للحساسات في منطقة ما قد يكون مناسباً لتغطية المنطقة المدروسة بنسبة ما أو قد تتم الحاجة إلى نشر عدد إضافي من العقد لكي تعمل بشكل أفضل مقارنة مع استهلاك الطاقة. إن عدد العقد الكلية اللازم نشرها في منطقة ما يجب أن يكون أقل ما يمكن وبحيث يحقق توصيل ثنائي الأتصال بين العقد (أي تبقى الشبكة الكلية ضمن حدود الكلفة الموضوعية للمسألة)؟

تقوم الخوارزمية بدراسة وضع شبكة الحساسات المنشورة عشوائياً بشكل أولي، وينتج عن هذه الدراسة قيمة تعبر عن صلاحية الشبكة المنشورة بشكل عشوائي للعمل مقارنة مع الشبكة ذات التوزيع المحدد لنفس المنطقة وتعتبر النسبة مقبولة مهما كانت قيمتها شريطة أن تحقق شرطين أساسيين وهما: الاتصال الثنائي بين العقد وتحقيق متطلبات التشغيل الزمنية المقبولة من قبل المشغل وفي هذه الحالة لا توجد ضرورة لنشر عقد إضافية. أما عندما لا تكون النسبة مقبولة فهذا يتطلب بالضرورة نشر مجموعة عقد إضافية تقوم الخوارزمية بتحديد لها، وتحديد أماكن توزيعها والتي يمكن نشرها بطرق مختلفة مثل (طائرات الدرونز) [58، 59].

تقوم الخوارزمية المقترحة بالتعرف على جميع العقد وتصنيفها في الشبكة حسب أهميتها. وتكون العقدة المرتبطة بأكبر عدد من العقد بالنسبة لعقد الجوار هي الأكثر أهمية. تحدد كذلك الخوارزمية العقدة المركزية للنشر العشوائي والتي تمثل نهاية دورات نشر الخوارزمية أي عندما تصبح العقدة الأكثر أهمية هي العقدة المركزية فإن الخوارزمية تنتهي من عمليات النشر الإضافية.

عندما يتم إضافة عقد جديدة على النشر الأولي تقوم الخوارزمية بتفحص الشبكة من جديد وتعطي نتيجة لذلك إمكانية عمل الشبكة بحالتها الراهنة أم تتطلب إضافة عقد أخرى جديدة. إن الحد الأعظمي لعدد العقد الممكن إضافتها يجب أن لا يتجاوز عدد العقد الأعظمي المسموح نشرها ضمن المنطقة u .

عند نشر العدد الأعظمي للعقد المسموحة تقوم الخوارزمية بتشغيل الشبكة على وضعها الراهن حينها بغض النظر عن قيمة متطلبات زمن التشغيل.

بعد وضع عقدة تجميع البيانات Sink في محيط الشبكة تقوم بالتراسل مع جميع العقد المنشورة في المنطقة وتأخذ من كل عقدة مجموعة من البارامترات مثل (المسافة عن كل جوار وطاقة البث الموافقة و متوسط المسافة بينالجوار عند كل سوية طاقة ومواقع العقد). بعد وصول المعلومات الخاصة بكل عقدة إلى عقدة تجميع البيانات تقوم الخوارزمية بتحديد طاقة الإرسال التي ستعمل عندها كل عقدة بحيث تحقق أفضل تغطية مع أدنى طاقة للعقدة نفسها وتحقق أفضل اتصال ثنائي الإتجاه بينها وبين العقد المجاورة.

تقوم عقدة تجميع البيانات بتحديد قيم طاقة الإرسال لكل عقدة من العقد ومن ثم إعطاء أمر البدء بمرحلة التشغيل.

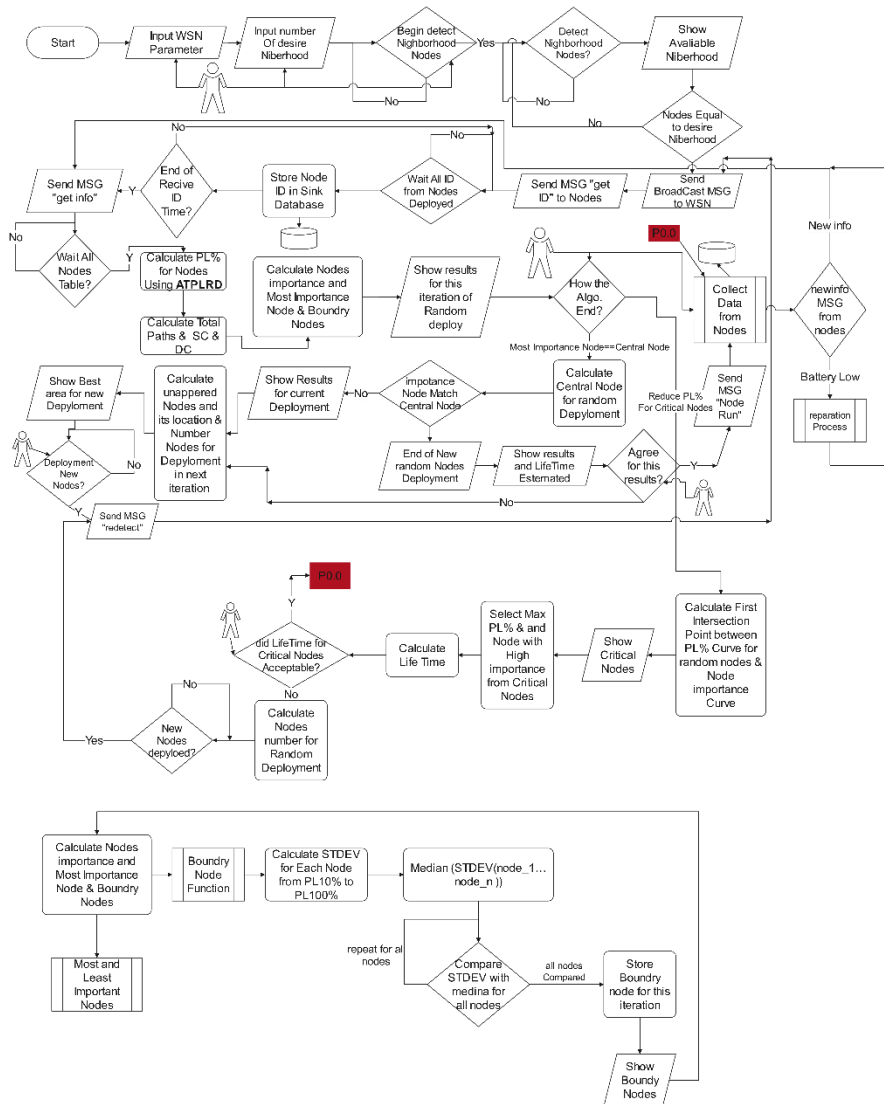
مرحلة التشغيل:

بعد تطبيق الخوارزمية المفروضة وإرسال قيم السويات الطاقية التي ستضبط عليها العقد من عقدة تجميع البيانات فإن الخوارزمية في عقدة تجميع البيانات تقوم بإعطاء أمر التشغيل للشبكة وتحصيل البيانات المطلوبة منها.

في حال حدوث خلل ما في عمل عقدة ما نتيجة لتغير موضعها مثلاً أو نتيجة لحدوث عطب فيها أو فقدها أحد من جوارها. فإن خروج أحد العقد عن العمل ستفقد هذه العقدة الاتصال مع عقد الجوار وفي هذه الحالة ستقوم هذه العقدة بعملية علاج ذاتية من خلال زيادة استطاعة البث لها تدريجياً إلى أن تتمكن من الاتصال الثنائي مع جميع عقد الجوار السابقة وإذا لم يتحقق شرط الاتصال الثنائي تزيد طاقة الإرسال لها إلى 100% وفي هذه الحالة إذا تحقق شرط الاتصال الثنائي أو لم يتحقق فإن العقدة تقوم بإرسال معلوماتها الجديدة إلى عقدة تجميع البيانات والتي بدورها تقوم بتقييم وضع الشبكة من جديد وإعطاء بارمترات التشغيل الجديدة لهذه العقدة وللعقد المجاورة المتأثرة، أما إذا لم يتحقق الاتصال بين هذه العقدة والجوار فإن عقد الجوار ستقوم بإعلام عقدة تجميع البيانات بفقدان أحد عقد الجوار والتي بدورها تقوم بإعادة تقييم الشبكة من جديد. في حالة تغير مكان عقدة ما مع بقائها متصلة ثنائياً مع عقد الجوار فيمكن الاعتماد على متوسط البعد بين هذه العقدة وعقد الجوار من أجل إعطاء بارمترات التشغيل للشبكة من جديد من قبل عقدة تجميع البيانات.

في النتيجة ستعمل العقد بطاقات إرسال مختلفة وبالتالي يمكن أن تخرج العقد التي تعمل بطاقات إرسال أكبر من غيرها بفترة زمنية أقل، وفي هذه الحالة ستقوم عقدة تجميع البيانات بإعادة تشغيل الشبكة ببارمترات جديدة ويستمر عمل الشبكة بشكل سليم ومقبول مع فقدان بعض العقد والتي تعتبر ذات أهمية قليلة، أما عند فقدان عقدة ذات أهمية كبيرة فيمكن أن تخرج الشبكة عن العمل.

في هذا العمل العلمي تم اقتراح الخوارزمية بحيث تجعل الشبكة تعمل مع فقدان عقد ذات أهمية كبيرة من خلال إضافة عقد جديدة حتى لو تجاوز الأمر الكلفة للشبكة. من الممكن أن تعمل عقدة ما بطاقة ارسال كبيرة لتؤمن عملية الربط مع عقد الجوار حسب التحليل الذي تم في عقدة تجميع البيانات، هذا يؤدي إلى استهلاك الطاقة بشكل أسرع والذي ينقص عمر الشبكة ككل، ولكن في دورات الخوارزمية اللاحقة ومن خلال النشر الإضافي يمكن أن تحسن عملية الإتصال والذي يؤدي لتخفيض الطاقة لهذه العقدة وبالتالي إطالة عمر الشبكة. أو من خلال ارسال عقدة تعويض لمكان العقدة التي خرجت من الشبكة والتي يؤدي إلى استمرارية العمل في الشبكة لوقت أطول. يلخص عمل خوارزمية عقدة تجميع البيانات من دون خوارزمية العقد بالشكل 2، وتم تبيان خوارزمية العقد في بحث آخر.



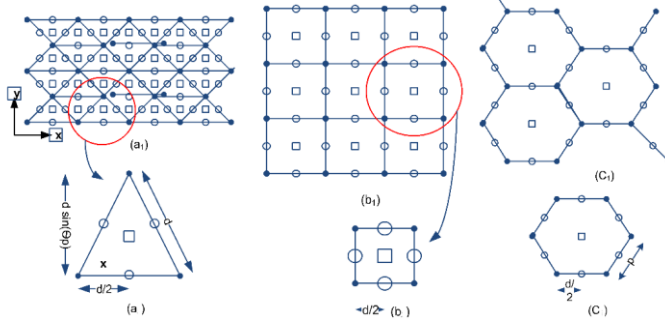
الشكل 2: خوارزمية عقدة تجميع البيانات وفق الخوارزمية المقترحة

7.2. بناء وتطبيق الخوارزمية

عند تصميم خوارزمية لتشغيل شبكة حساسات لاسلكية لمنطقة جغرافية ذات شكل مربع محددة بالمساحة A ، (من الممكن أن تكون المساحات الجغرافية على شكل مستطيل أو دائرة أو منطقة متعرجة... الخ)، يتم اختيار نوع الشبكة حسب المنطقة، وفي هذا العمل تمت الدراسة على نوعين من الشبكات ذات التوزيع المحدد وهي الشبكات

المتشابهة المحددة المربعة و المحددة السداسية. علماً أنه يمكن اختيار أنواع أخرى من الشبكات المحددة مثل المثلثية والتي لم يتم التطرق عليها أثناء تصميم الخوارزمية بل تم ذكرها فقط، يستخدم التوزيع المحدد لحساب العدد الأولي للعقد ويستخدم هذا العدد في أول عملية نشر عشوائي ويتم المقارنة بين النشر العشوائي والتوزيع المحدد من حيث المواضع وحساب نسبة الإنحراف بين التوزيع المحدد والنشر العشوائي الذي يعطي مؤشر لجودة النشر.

في التقنية القائمة على التوزيع الشبكي [60]، يتم تحديد مواقع عقد الحساسات على أساس نمط الشبكة، مثل الشبكة المربعة والشبكة المثلثية وشكل الشبكة السداسية. لقد استخدم المرجع [61] معادلة تحسب العدد المطلوب حسب التوزيع المحدد وذلك لمقارنة الأعداد المختلفة للعقد الضرورية لتحقيق تغطية p-coverage و q-connectivity عند التوزيعات الشبكية المنتظمة المحددة. الشكل 3 يوضح الأنواع المختلفة لأنماط الشبكية.



الشكل 3: توزيع العقد باستخدام النمط المنتظم المثلثي والرباعي والسداسي [61].

إن الخوارزمية المفروضة تقسم العقد إلى قسمين هما "العقد الأولية" و "العقد الاحتياطية"، تستخدم العقد الأولية في أول نشر عشوائي حسب تحديدها من قبل التوزيع المحدد لنفس المنطقة، وتقرن مواقع العقد العشوائية بالنسبة بمواضع التوزيع المحدد (رباعي و سداسي) في المنطقة المستهدفة، أما العقد الاحتياطية تستخدم من أجل الترميم في مراحل النشر التالي فوق النشر الأولي.

بفرض لدينا المعطيات التالية بحيث: عدد العقد الأعظمي $u = 75$ عقدة، كلفة العقدة $P = 20\$$ وبحيث أن العقدة عند طاقة بث $PL=100\%$ تغطي نصف قطر $r_{100\%}$

$T_{r_{100\%}} = 960$ Hours وتعمل لمدة 2000 متر و تفرغ البطارية بشكل خطي وتعمل لمدة 960 Hours وسطياً و وأبعاد منطقة العمل المستهدفة $8 [km] * 8 [km]$ وزمن التشغيل المراد لعمر الشبكة $Lifetime_{init} = 1680$ [Hours].

ومن الجدير تذكره أن عمر الشبكة ينتهي بمجرد خروج أول عقدة عن العمل وهو أحد تعريفات عمر الشبكة الأكثر تشاؤماً [62]، يوجد تعريفات أخرى لعمر الشبكة مثل "عمر الشبكة هو الفترة الزمنية من النشر إلى اللحظة التي تعتبر فيها الشبكة غير عاملة. ومع ذلك فإن الوقت الذي ينبغي اعتبار الشبكة غير عاملة فيه أمر خاص بالتطبيق" [63]. تربط أهمية العقدة في الشبكة بعدد الجوار المرتبط و بزمن التفريغ للمدخرات ويعمر الشبكة وبعدد الرسائل التي تمر من خلال هذه العقدة في الخوارزمية المفروضة، وهي معامل تم تعريفه للعمل على تحديد العقد وأهميتها لتحسين عمر الشبكة. وكذلك نستخدم أهمية الشبكة لإنشاء تعريف جديد لعمر الشبكة.

يرتبط العدد الأولي للنشر بزمن التشغيل اللازم تحقيقه وهو الزمن المطلوب للعمل كحد أدنى وهي حسب:

* متطلبات التطبيق. * العدد المتاح للعقد الأعظمي * المسافة عند طاقة بث محددة للعقدة.

ندرس المعطيات عند طاقة بث 100% ونوجد عدد العقد الأولي للعقد في حالة التوزع المحدد المربع وفق المعادلة (1) المستنتجة، حيث:

$$T_{r_{100\%}} = 960 \text{ Hours}, T_{des} = Lifetime_{init} = 1680 \text{ Hours}$$

$$n_{r_{100\%}} = INT \left(\left(\frac{L1}{r_{100\%}} - 1 \right) * \left(\frac{L2}{r_{100\%}} - 1 \right) \right) \Leftrightarrow (T_{r_{100\%}} \geq Lifetime_{init} \& n_{init} \leq u) \dots (1)$$

$$= INT \left(\left(\frac{8000}{2000} - 1 \right) * \left(\frac{8000}{2000} - 1 \right) \right) = 9 [Nodes]$$

لايتحقق الشرط $(T_{r_{100\%}} \geq Lifetime_{init} \& n_{init} \leq u)$ لأن متوسط زمن تشغيل العقدة عند طاقة 100% أصغر من الزمن الأولي المطلوب لتشغيل الشبكة، لذا يجب حساب السوية الطاقية للبث التي تعمل عندها العقدة والتي تحقق الشرطين السابقين. نحسب مقدار طاقة البث الجديدة التي تحقق متطلبات التشغيل من المعادلة (2) التالية:

$$PL_{100\%} * T_{r_{100\%}} = Constant\ ratio = \tau \dots (2)$$

$$PL_{new\%} * T_{r_{new\%}} = \tau \Rightarrow PL_{new\%} = \frac{\tau}{T_{r_{new\%}}} = \frac{96000}{1680} = 57.14\% \Rightarrow PL_{new\%} \approx 50\%$$

تم تقريب سوية الطاقة لعدد صحيح فقط من أجل الدراسة النظرية. بعد حساب طاقة البث التي تحقق متطلبات التشغيل عند الزمن الحدي أي زمن التشغيل المطلوب وكل زمن أطول فترة منه يكون أفضل لكن على حساب التكلفة وعدد العقد الكلي، دائماً نقرب إلى سوية الطاقة الأدنى، ثم إننا نحسب نصف قطر الذي تغطيه العقدة عند سوية الطاقة هذه من المعادلة (3):

$$\Rightarrow r_{PL_{new\%}} = r_{50\%} = \frac{PL_{50\%} * r_{100\%}}{100} = 1000[m] \dots (3)$$

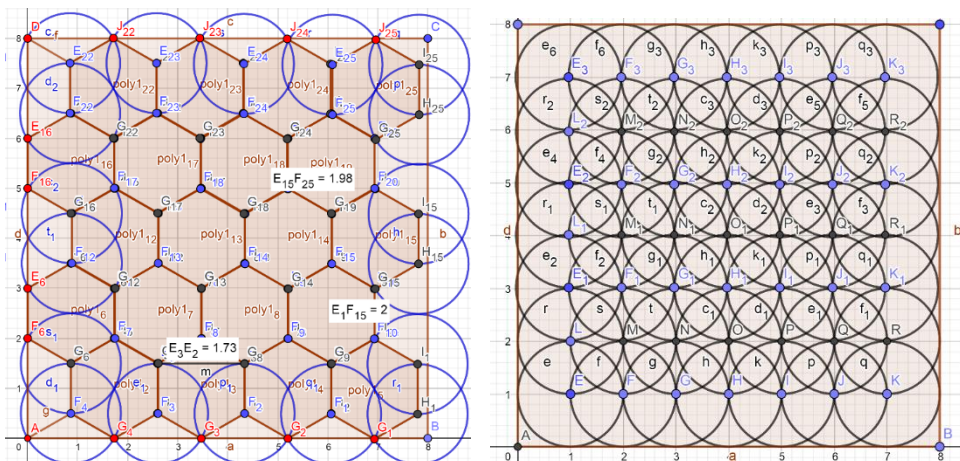
بعد حساب طاقة البث الجديدة التي تحقق زمن التشغيل لعمر الشبكة المطلوب وحساب المسافة الموافقة عندها للعقدة فإننا نطبق المعادلة (1) لحساب عدد العقد من جديد:

$$n_{r_{50\%}} = INT \left(\left(\frac{L1}{r_{75\%}} - 1 \right) * \left(\frac{L2}{r_{75\%}} - 1 \right) \right) \Leftrightarrow (T_{r_{75\%}} \geq Lifetime_{init} \& n_{r_{75\%}} \leq u)$$

$$= INT \left(\left(\frac{8000}{1000} - 1 \right) * \left(\frac{8000}{1000} - 1 \right) \right) = 49 [Nodes]$$

نلاحظ أن عدد العقد يحقق شرط عدد العقد و كذلك الزمن الوسطي من أجل تشغيل العقدة يحقق زمن تشغيل عمر الشبكة. إن عدد العقد عند التوزيع المحدد الشبكي المربع يحتاج 49 عقدة وهو أقل من عدد العقد الكلي $u = 75$ ، أي أن العدد المطلوب يجب أن يحقق المعادلة (1) السابقة. الشكل 4 يبين توزيع 49 عقدة بشكل محدد وفق التوزيع الرباعي و 46 عقدة وفق التوزيع المحدد السداسي، لانتطبق نفس العلاقات السابقة لحساب العدد الأولي في التوزيع السداسي، إنما يوجد معادلات أخرى مشروحة في أبحاث أخرى.

تحديد العقد الحدودية واتصالها معاً في النشر العشوائي في شبكات الحساسات اللاسلكية

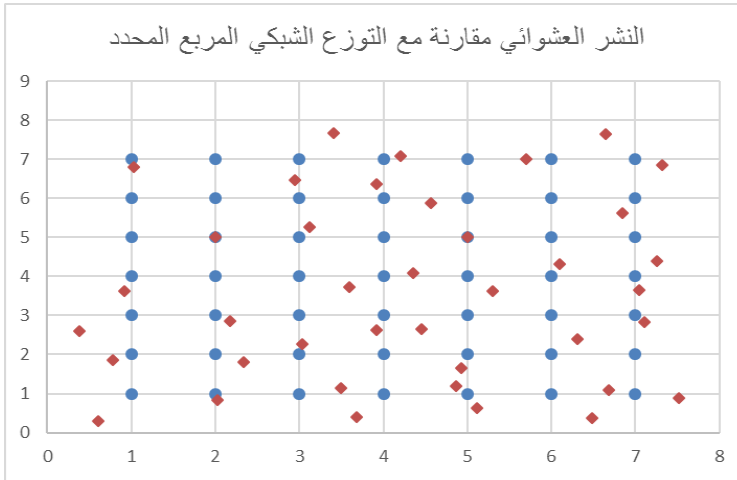


الشكل 4: توزيع العقد 49 وفق التوزيع المربع من اليمين، و 46 عقدة وفق التوزيع السداسي من اليسار. في الواقع بعد نشر العقد عشوائياً ينتج السؤال الأهم، هل هذه العقد التي ذات نطاق ارسال محدد والتي تحقق التغطية الكاملة للمساحة المستهدفة هي مناسبة عند نفس الطاقة في حالة النشر العشوائي للعقد؟ كما سيتبين لاحقاً أنه قطعاً لا، حيث تعمل الخوارزمية المفروضة على تكييف نطاق الارسال لكل عقدة حسب مكانها وحسب توضعها بالنسبة لجيرانها وتوضعها ضمن المنطقة المستهدفة، لأنه في حالة النشر العشوائي لن توزع العقد كما في الحالة المنتظمة وستتغير سويات الطاقة دون الحد الأولي 50% المستخدم في التوزيع المحدد وبعضها فوق هذا الحد.

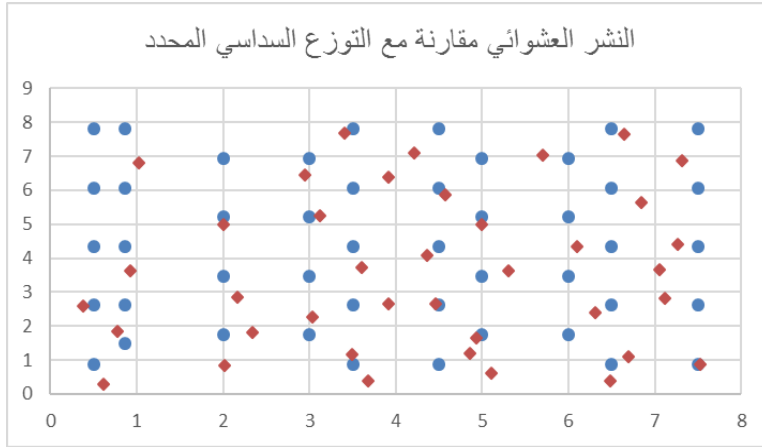
بفرض أن العقد التي ستوزع في الحالة المحددة ذات التوزيع الشبكي المربع تأخذ المواقع التالية من المنطقة المستهدفة، وحيث هذه العقد لها مواقع محددة ضمن مساحة العمل. تستخدم مواقع العقد المحددة وفق التوزيع الشبكي الأولي لمقارنة العقد الموزعة عشوائياً ومدى اقترابها من التوزيع المحدد، وتحدد هذه النسبة مدى الانحراف للعقد المنشورة عن التوزيع المحدد للعقد. ومن خلال المقارنة تختار الخوارزمية عدد العقد في النشر التالي، وذلك إن حددت الخوارزمية الحاجة لنشر اضافي.

بفرض تم نشر عدد من العقد بشكل عشوائي عددها 49 عقدة في حال إعتد التوزع الشبكي المربع، أي حدد عدد العقد حسب التوزع المحدد التي اعتمدت كمرحلة أولية للتوزع في المنطقة المستهدفة. نفرض الحالة الأسوأ التي من الممكن أن تحدث للعقد أثناء نشرها عشوائياً وهي:

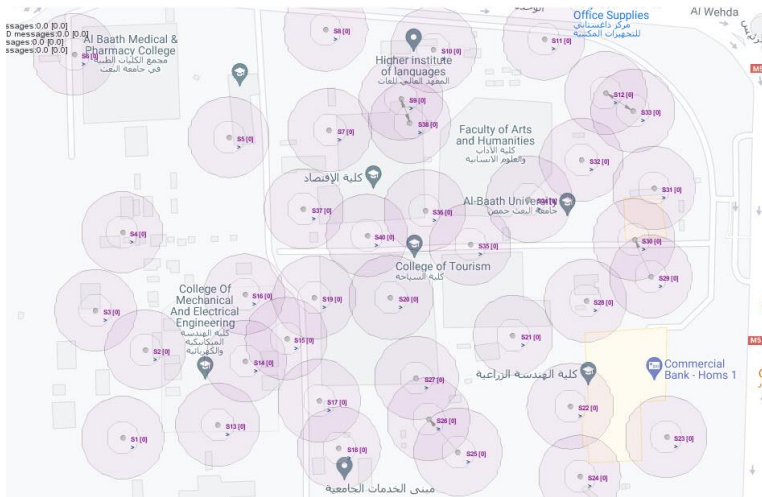
- عند النشر تعطلت مجموعة عقد (وليكن عددها 8) بسبب السقوط أو بسبب أعطال فنية، وهي حالة فرضية في المسألة لتبيان الحالة الأسوأ في النشر العشوائي.
 - خروج أحد العقد من المنطقة المستهدفة وإبتعادها عن مجال العقد المنشورة.
- هذه مجموعة من الفرضيات فقط لتغطية الحالات التي من الممكن أن يمر بها النشر العشوائي ضمن البيئة المعادية ولجعل النشر العشوائي يقترب من الحالة الأسوأ من أجل دراسته ودراسته جدواه. فيتبقى 39 عقدة عشوائية في المنطة المستهدفة مبينة في الجدول 2، كذلك فرضياً بقيت 39 عقدة من أصل 46 عقدة وفق التوزع المحدد السداسي، وفرض هذه القيم لمقارنة المطابقة مع نوعي التوزع المحددين، يوضح الشكل 5 التوزع المحدد الرباعي والعقد المنشورة عشوائياً، والشكل 6 التوزع المحدد السداسي والعقد المنشورة عشوائياً، والشكل 7 النشر العشوائي ضمن جامعة البعث في بيئة cupcarbon.



الشكل 5: النشر العشوائي مقارنة مع التوزع الشبكي المربع المحدد في المرحلة الأولى



الشكل 6: النشر العشوائي مقارنة مع التوزيع الشبكي السداسي المحدد في المرحلة الأولى

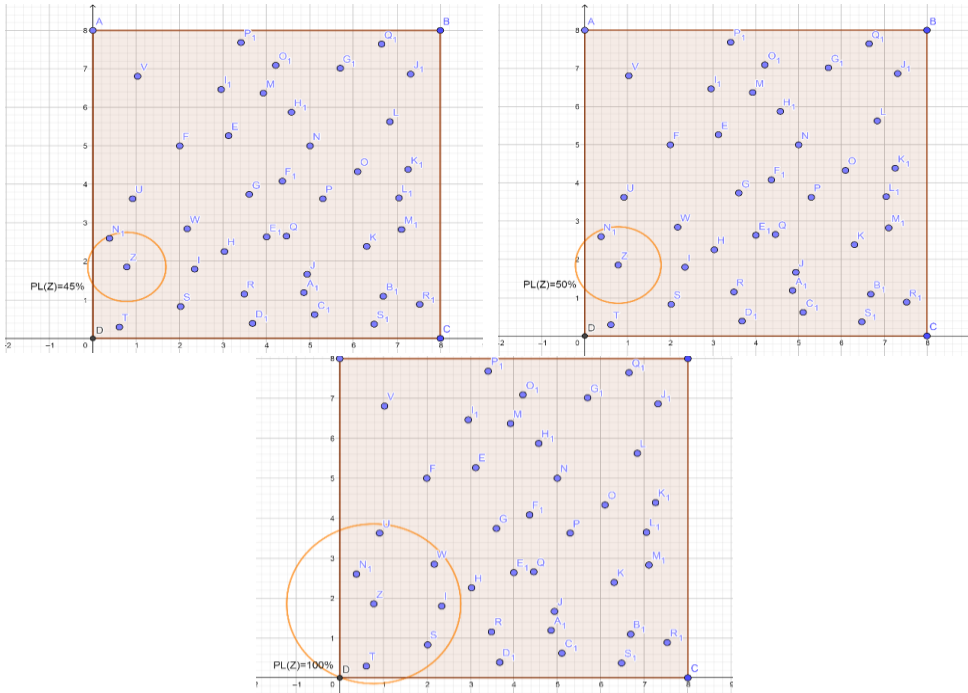


الشكل 7: النشر العشوائي للمسألة المدروسة ضمن جامعة البعث على بيئة المحاكاة cupcarbon

تبدأ كل عقدة عشوائية بفحص جوارها بالنسبة للمنطقة المستهدفة، حيث تقوم كل عقدة بإنشاء جدول خاص بها يحتوي على التغيير في سوية طاقة البث وعدد الجوار عند كل سوية طاقة ومسافات عقد الجوار المكتشفة ومواقعها ومتوسط أبعاد العقد، حيث تحتوي كل عقدة على نظام تحديد المواقع لمعرفة احداثيات العقدة ويعتبر GPS فعال في البيئة المكشوفة، وبفرض أن بعض العقد لم تستطع تحديد موقعها فهذا لايؤثر على سير

الخوارزمية. يوجد العديد من الطرق لمعرفة احداثيات عقدة لم تستطع تحديد موقعها من عقد الجوار التي حددت موقعها [64] [65].

تنشئ كل عقدة جدول خاص بها من خلال التغيير في سوية طاقة الإرسال ونبين الفكرة من خلال العقدة Z الموضحة بالشكل 8 وجدول سويات الطاقة المرتبطة بها الجدول 1.



الشكل 8: التغيير في سوية طاقة الإرسال بالنسبة للعقدة Z

الجدول 1: جدول العقدة Z بعد النشر الأولي للعقد في الدورة الأولى

Node Z it1						
PL%	الدرجة	العقد المرتبطة	أبعاد العقد	متوسط أبعاد العقد	إحداثيات الجوار	
%45	1	N1	0.84	0.84	(0.38,2.6)	
%50	1	N1	0.84	0.84	(0.38,2.6)	
%60	1	N1	0.84	0.84	(0.38,2.6)	
%70	1	N1	0.84	0.84	(0.38,2.6)	
%80	3	N1 , I , T	0.84,1.56,1.57	1.323	...	
%90	6	N1 , I , T , S , W , U	0.84,1.56,1.57, 1.61 , 1.71 , 1.78	1.511	...	
%100	6	N1 , I , T , S , W , U	0.84,1.56,1.57, 1.61 , 1.71,1.78	1.511	...	

إن التغييرات في سوية طاقة الإرسال ممكن أن تكون متدرجة وناعمة وبتتطلب ذلك نوع مرسل يتضمن هذه الميزة ويوجد مرسلات تنتقل بمقدار محدد لسوية طاقة الإرسال، تم الانتقال بمقدار 10% من طاقة الإرسال وذلك لتخفيف القيم في الجداول وتكفي هذه القيم لعرض وتوضيح الخوارزمية المفروضة فقط ودراستها. توجد بعض المرسلات اللاسلكية التي لا تستطيع الانتقال بتدرجات صغيرة في طاقة الإرسال إنما تكون بنسب من الطاقة الكلية كما في الطريقة المتبعة في هذه الدراسة. لتزويد مصممي النظام بالقدرة على التحكم ديناميكياً في قوة الإرسال توفر أجهزة الراديو المستخدمة بشكل شائع مثل CC1000 و CC2420 مسجل لتحديد مستوى طاقة الإرسال أثناء وقت التشغيل [35].

من أجل دراسة العقد واتصالها مع الجوار عند سويات الطاقة المختلفة تنشأ الخوارزمية جداول السويات الطاقية، حيث يتضمن كل جدول العقد وجوارها المتصل عند هذه السوية، تبدأ الخوارزمية من الجدول ذو السوية الطاقية الأدنى وفقاً للعقد، وهنا السوية الطاقية الأدنى هي 30% من طاقة الإرسال. وتهدف هذه العملية إلى تحديد سويات الطاقة للعقد بحيث تعمل عند أدنى طاقة تحقق الإتصال للوصول لترابط كامل قدر الإمكان بين عقد الشبكة.

يمكن وضع عدة معايير لتحديد سوية الطاقة التي ستعمل عليها العقدة من خلال دراسة تغييرات اتصالات العقدة أو من خلال ظهور العقدة بالنسبة لكل العقد ولكن يلزم معيار يجعل العقد تعمل بشكل متبادل وتكون الشبكة مترابطة ككل، لذا يمكن اعتماد معيار الوصول لسويات الطاقة الأدنى التي تحقق مخطط بياني موجه ثنائي الطرف ضمن حدود الكلفة هو المعيار المتبع ضمن الخوارزمية المفروضة وذلك عندما تكون العقدة الأكثر أهمية هي العقدة المركزية للنشر العشوائي.

من أجل تحديد السويات الطاقية للإرسال التي ستعمل عليها العقد نتبع الإجراءات التالية ضمن الخوارزمية المقترحة وهي طريقة جديدة ولم تستخدم سابقاً:

1- ترسل عقدة تجميع البيانات رسالة للعقد لتجميع كل البيانات المتوافرة عن العقد وسوياتها الطاقية وتشكل جداول الاتصال عند كل السويات الطاقية وتنشأ الجدول
2.

2- تحسب عقدة تجميع البيانات لكل عقدة الوسط Median لظهورات جيرانها من العقد عند كل السويات الطاقية ويأخذ كقيمة صحيحة، من دون أخذ السويات التي لا يظهر فيها جوار. بشرط أن لا يساوي الواحد، حيث في حال مساواة الوسط للواحد ينظر للسوية الطاقية الأعلى التي تغير من قيمة الظهور لمرة واحدة ولا ينظر عند السوية التي تحوي القيمة الأكبر من قيمة واحد. وعندما تكون قيمة الوسط لا تتطابق مع أي من القيم في الجدول فإنها من المؤكد ستتحصر بين سويتين للطاقة أو ظهورين للعقدة، تختار الخوارزمية الرقم الأقرب ضمن المجال المحصور أي من الممكن أن تزيد أو تنقص، بشرط أن لا يكون قيمة الحد الأدنى واحد، عندها ستأخذ الظهور الأعلى حتماً. في حال كانت قيمة الوسط واحد ولا يوجد في جداول الظهور غير قيمة الواحد عند كل السويات الطاقية، عندها تأخذ القيمة 1 عند السوية الطاقية الأدنى بين السويات الأخرى، وتجبر هذه العقدة العقد التي أظهرتها على تغيير سويتها الطاقية إلى نفس سويتها التي حددتها.

3- بعد حساب الوسط وتطبيق الخوارزمية المفروضة فإنها تحدد عدد الروابط المكافئ لسوية طاقة محددة، وهي الطاقة التي ستعمل عليها العقدة.

4- يأخذ الوسط لقيم الظهورات عند سويات الطاقة الغير صفرية حصراً. يمكن تلخيص عمل الخوارزمية المفروضة بالمعادلة (4) المستنتجة التالية في تحديد الإتصالات والسويات الطاقية وهي:

$$PL\% \text{ for } (Node_j) = ATPLRD(Int(Median(neighborhood \text{ of } [Node_j(MIN_PL\%) \rightarrow Node_j(MAX_PL\%)]))) : neighborhood \text{ of } Node_i \neq 0 \dots (4)$$

حيث: ATPLRD تمثل النتيجة التي تحدد السوية الطاقية للعقدة وفق الخوارزمية المفروضة.

تحديد العقد الحدودية واتصالها معاً في النشر العشوائي في شبكات الحساسات اللاسلكية

Median: الوسط لظهورات الجوار للعقدة عند السويات الطاقية بشرط أن لا تساوي الصفر.

INT: العدد الصحيح لقيمة المتوسط الناتج.

MIN_PL%: السوية الطاقية الأدنى التي تعطي ظهور للجوار.

MAX_PL%: السوية الطاقية الأعلى للعقدة.

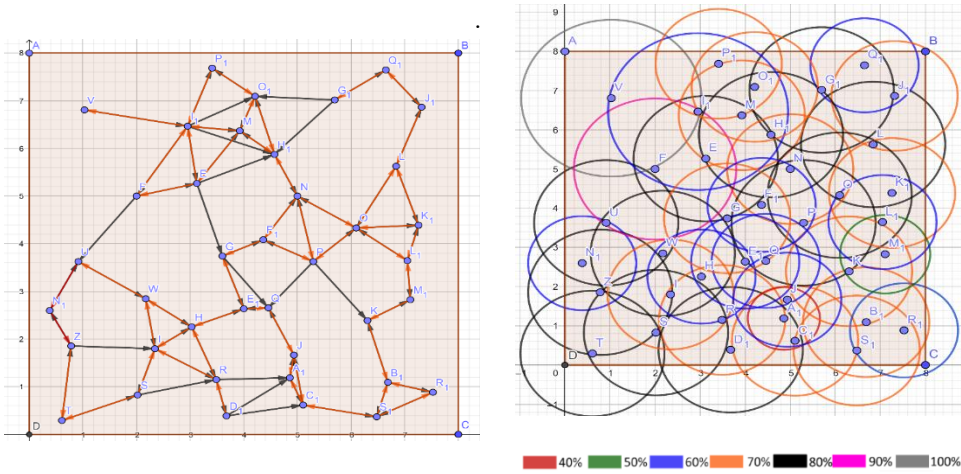
الجدول 2: جدول ظهور الجوار للعقد العشوائية عند سويات الطاقة المختلفة في الدورة الأولى للخوارزمية

رقم العقدة	اسم العقدة	الظهور عند %30	الظهور عند %40	الظهور عند %50	الظهور عند %60	الظهور عند %70	الظهور عند %80	الظهور عند %90	الظهور عند %100	Median	ATPLRD الموزونة
1	T	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2
2	Z	0	0	1	1	1	3	6	6	2	3
3	N1	0	0	1	2	2	2	2	3	2	2
.
10	D1	0	1	1	1	1	3	5	7	1	3
11	V	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
12	I1	0	0	1	1	4	4	6	7	4	7
13	F	0	0	0	1	1	1	3	3	1	3
14	P	0	0	0	2	4	5	8	10	5	5
.
33	K	0	0	1	1	2	5	5	9	3.5	2
34	M	0	1	3	3	4	5	6	7	4	4
35	F1	0	0	1	3	3	5	8	8	4	3
.
39	J	1	1	1	3	4	6	7	10	3.5	3

ويبين الشكل 9-أ السوية الطاقية لكل عقدة بعد تحديدها من قبل عقدة تجميع البيانات.

بعد تحديد السويات الطاقية للعقدة فإنه من الممكن تحديد الاتصالات بين العقد من خلال

مخطط بياني موجه. كما يوضح الشكل 9-ب .



الشكل 9-أ و 9-ب: السويات الطاقية للعقد في النشر الأول بعد تحديدها من قبل عقدة تجميع البيانات،

مخطط الاتصالات النهائي للعقد العشوائية في الدورة الأولى للخوارزمية

من خلال النظر للشكل 11-ب يتبين أنه تحقق ترابط كامل بين عقد الشبكة. ولكن يوجد مسارات أحادية الإتجاه. لذا ننظر في الدورات اللاحقة للخوارزمية وعمليات النشر للتقليل من المسارات الأحادية ما أمكن للوصول لمخطط بياني موجه ثنائي الاتجاه. وكذلك لتحقيق اتصاليين على الأقل لكل عقدة أي وجود جوارين في الحد الأدنى.

من أجل حساب عدد الروابط الأحادية والثنائية فإننا نطلق من طاقة البث التي حددت لكل عقدة في عقدة تجميع البيانات وفق الخوارزمية المفروضة. نحسب عدد المسارات الكلي وفق المعادلة المستنتجة (5) التالية:

$$Total Paths = \sum_{j=1}^{n_i} ATPLRD(Node_j) = \sum_{j=1}^{n_i} (Int(Median(nighhood of [Node_j (MIN_PL\% \rightarrow Node_j (MAX_PL\%)])))) \dots (5)$$

حيث:

ATPLRD: الخوارزمية المفروضة حيث تقوم بالنظر للوسط وتتعامل معه كما ذكرنا سابقا.

Median: تمثل الوسط لظهورات العقدة عند السويات الطاقية.

$Node_j$: العقدة الذي ينظر بظهوراتها بالنسبة للعقد الأخرى.

n_i : جميع العقد المنشورة عشوائيا في الدورة الحالية للخوارزمية.

عدد المسارات الكلي = 119 و عدد الاتصالات بين العقد = 77

عدد المسارات أحادية الإتجاه = 15 = النسبة 12.605%

عدد المسارات الثنائية = 52 = النسبة 87.394%

وتحسب المسارات كنسبة مئوية من المسارات الكلية وفق معادلات أخرى تم استنتاجها أيضاً، حيث في الدورات اللاحقة للخوارزمية وعند زيادة عدد العقد فإن عدد المسارات يزداد بين العقد، لذا نعتمد على المقارنة كنسبة مئوية في كل دورة للخوارزمية.

7.3. نتائج البحث (العقد الحدودية والمتغير α)

7.3.1. العقد الحدودية

من الأمور المهمة معالجتها لشبكة العقد المنشورة بشكل عشوائي "العقدة المركزية أو العقدة الأكثر أهمية" والتي تتمثل بالعقدة الأكثر اتصالاً عند كل سويات الطاقة، وكذلك "عقد الحدود" التي تتمثل في العقد الأبعد عن مركزية الشبكة والتي يقل فيها الكثافة للعقد والتي تمثل حدود الشبكة المنشورة. بمعرفة هذه العقد نستطيع تحديد الكثافة الإحتمالية ومعرفة المواطن التي يمكن استهدافها في النشر الثاني من الخوارزمية. نركز في هذا البحث على العقد الحدودية.

تدرس الخوارزمية التغيرات في كل عقدة من خلال تغيرات الجوار والتباين في الارتباط للعقد وكذلك الانحراف المعياري لها، ومن خلال التباين والانحراف المعياري يمكن تحديد العقد الأكثر مركزية من العقد الأكثر ابتعاداً عن المركز والتي تمثل حدود الشبكة.

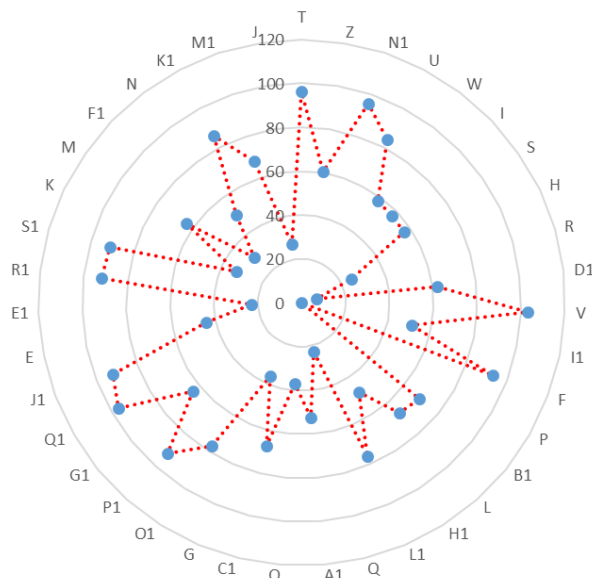
بالنظر إلى الجدول 5 الذي يعطي ظهورات جوار العقدة لكل العقد عند سويات الطاقة كافة، ومن خلال حساب الانحراف المعياري (مقدار التباين مقارنة بمتوسط الظهورات) Standard Deviation من أجل كل عقدة وفق الجدول 3، يمكن رسم مخطط radar الذي يعطي العقدة الأكثر أهمية والعقد الأقل بالنسبة للشبكة، والذي يوضح هذه العقد بالنسبة للشبكة ككل.

الجدول 3: حساب الإنحراف المعياري والتباين لظهورات الجوار للعقد المنشورة عشوائياً في النشر الأولي

Random nodes>>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	...	33	34	35	36	37	38	39
PL% ↓	T	Z	N1	U	W	I	S	H	R	D1	V	I1	F	P	B1	...	K	M	F1	N	K1	M1	J
10%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	1
20%	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	...	0	1	0	0	1	0	1
30%	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	2	...	1	3	1	1	1	2	1
40%	0	1	2	1	2	3	1	4	2	1	0	1	1	2	2	...	1	3	3	2	2	2	3
50%	0	1	2	1	2	4	1	4	4	1	0	4	1	4	3	...	2	4	3	4	3	2	4
60%	2	3	2	2	3	5	3	6	7	3	0	4	1	5	3	...	5	5	5	4	4	3	6
70%	2	6	2	4	5	5	6	7	9	5	0	6	3	8	5	...	5	6	8	5	4	4	7
80%	2	6	3	4	7	7	6	9	9	7	1	7	3	10	7	...	9	7	8	8	4	7	10
90%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	1
100%	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	...	0	1	0	0	1	0	1
DevSQ	7.5	43.5	8	20	45.87	46.87	46.87	78.87	96.87	41.87	0.875	52.87	10.87	103.87	34.87	...	70.87	39.87	74	54	17.87	36	76.87
Max(devsq) -devsq	96.375	60.375	95.875	83.875	58	57	57	25	7	62	103	51	93	0	69	...	33	64	29.875	49.875	86	67.875	27
STDEV.p	0.97	2.33	1.00	1.58	2.39	2.42	2.42	3.14	3.48	2.29	0.33	2.57	1.17	3.60	2.09	...	2.98	2.23	3.04	2.60	1.49	2.12	3.10

من خلال النظر في قيمة DEVSQ للقيم الناتجة عن تغيرات جوار العقد حسب السوية الطاقية يتبين الشكل 10 الذي يوضح أهمية العقد في المنطقة المستهدفة بناء على تغيرات الجوار (تم دراستها في بحث آخر).

MOST AND LEAST IMPORTANT NODES, CENTRAL NODE IN 1ST ITERATION



الشكل 10: العقدة الأكثر أهمية والعقد الأقل أهمية في المنطقة المستهدفة خلال النشر الأول للعقد إن الخوارزمية المقترحة توجد "العقد الحدودية" من خلال دراسة تغيرات الانحراف المعياري للعقد، ثم أخذ الوسط Median لمجموعة الانحرافات المعيارية للعقد المنشورة عشوائياً، بحيث كل العقد التي تكون قيمة انحرافها المعياري أصغر من الوسط الناتج من الانحرافات المعيارية تكون عبارة عن عقد حدود الشبكة العشوائية المنشورة.

من خلال الجدول 6 الذي حسب فيه الانحرافات المعياري فإننا نستخدم الوسط لايجاد العقد التي على حدود الشبكة، بحيث نستنتج العلاقة xx التالية:

$$STDEV(node_1) = neighbors (node_1)_{PL=10\%} \dots neighbors (node_1)_{PL=100\%}$$

$$\vdots$$

$$STDEV(node_n) = neighbors (node_n)_{PL=10\%} \dots neighbors (node_n)_{PL=100\%}$$

إن قيم الانحراف المعياري لكل عقدة عند كل سوية طاقية مبينة في الجدول 4.

الجدول 4: قيمة الإنحراف المعياري لتغيرات الجوار للعقد المنشورة عشوائياً في المرحلة الأولى

رقم العقدة	اسم العقدة	STDEV.p	رقم العقدة	اسم العقدة	STDEV.p	رقم العقدة	اسم العقدة	STDEV.p
1	T	0.968	16	L	2.147	31	R1	1.218
2	Z	2.332	17	H1	2.634	32	S1	1.269
3	N1	1.000	18	L1	1.871	33	K	2.976
4	U	1.581	19	Q	3.180	34	M	2.233
5	W	2.395	20	A1	2.537	35	F1	3.041
6	I	2.421	21	O	2.891	36	N	2.598
7	S	2.421	22	C1	2.147	37	K1	1.495
8	H	3.140	23	G	2.905	38	M1	2.121
9	R	3.480	24	O1	1.833	39	J	3.100
10	D1	2.288	25	P1	1.218			
11	V	0.331	26	G1	2.236			
12	II	2.571	27	Q1	0.968			
13	F	1.166	28	J1	1.218			
14	P	3.603	29	E	2.727			
15	B1	2.088	30	E1	3.180			

بعد حساب الانحراف المعياري لكل عقدة عند كل السويات الطاقية، فإننا نوجد القيمة التي

تحدد عقد الحدود، من خلال حساب الوسط للانحرافات المعيارية وفق العلاقة 6 التالية:

$$Median(STDEV(node_1 \dots node_n)) \dots (6)$$

بعد حساب قيمة الوسط للانحرافات المعيارية فإننا نستخدمه كقيمة مرجعية لتحديد عقد

المحتملة لتكون عقد الحدود بالنسبة للنشر العشوائي، بحيث القيم التي تكون أصغر أو

تساوي قيمة الوسط فإنها تكون عقدة حدودية من خلال العلاقة 7 التالية:

$$\forall (STDEV(node_i)) \leq Median(STDEV(node_1 \dots node_n)) \\ \Rightarrow node_i: is boundaries \dots (7)$$

وحيث:

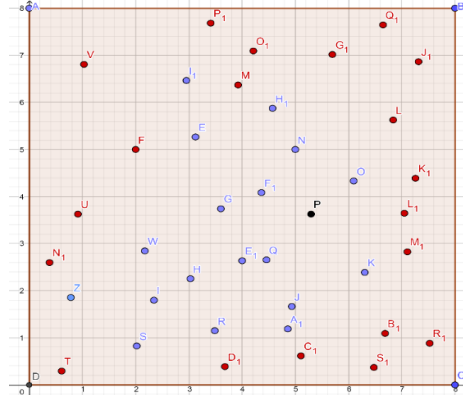
i - يمثل دليل جميع العقد التي تحقق انحرافها المعياري أقل من الوسط لجميع الانحرافات المعيارية لكل العقد.

إن قيمة الوسط للانحرافات المعيارية للعقد خلال النشر العشوائي الأول مساوية إلى:

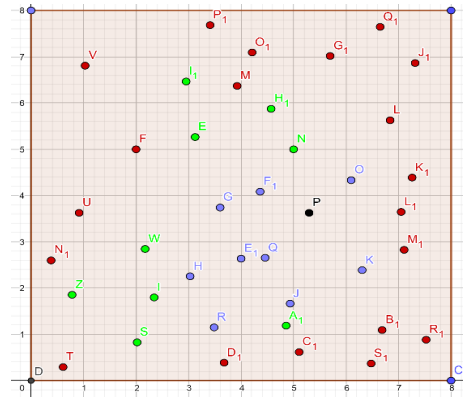
$$Median(STDEV(node_1 \dots node_n)) = 2.287875652$$

من هذه القيمة نحدد العقد التي انحرافها المعياري أقل أو تساوي الوسط، وتحدد على أنها

عقد حدود للشبكة. وهي مبينة في الجدول السابق 7. والتي توضح في الشكل التالي 11.

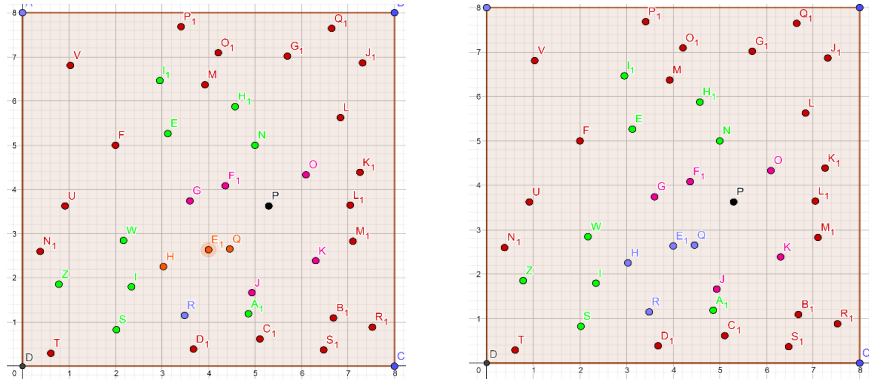


الشكل 11: عقد الحدود المحددة من قبل الخوارزمية والعقدة المركزية في النشر العشوائي الأول من خلال حساب الانحراف المعياري تم تحديد عقد الحدود للنشر العشوائي، من خلال تطبيق المتوسط على الانحرافات المعيارية للعقد التي ليست حدودية من جديد فإننا نحصل على العقد التي تكون في سوية أقرب من المركز والتي تكون بمستوى أدنى من عقد الحدود. كما في الشكل 12.



الشكل 12: عقد الحدود المحددة وفق السوية الأولى والسوية الثانية من قبل الخوارزمية والعقدة المركزية في النشر العشوائي الأول

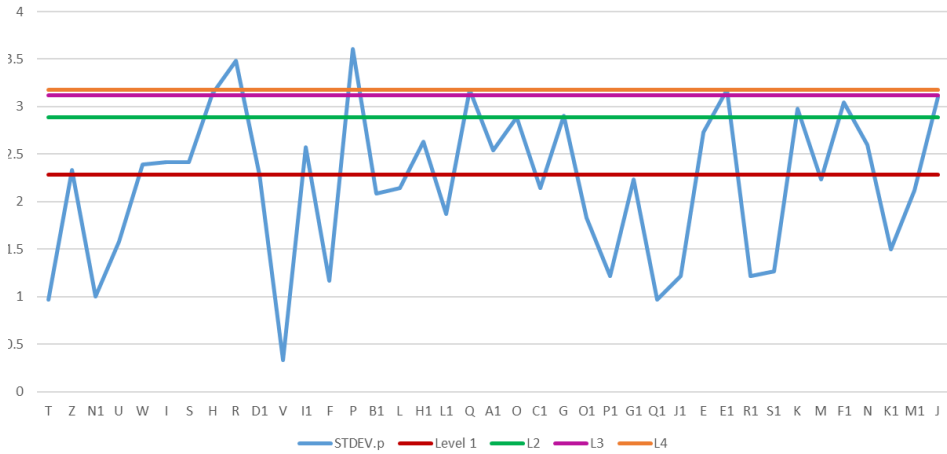
نعيد الحسابات لتحديد المستوى الثالث والرابع للعقد الأقرب إلى المركز من خلال تطبيق الإجراءات السابقة والمبينة في الشكل 13.



الشكل 13: عقد الحدود المحددة وفق السوية الثالثة من اليمين والسوية الرابعة من اليسار من قبل

الخوارزمية والعقدة المركزية في النشر العشوائي الأول

يمكن رسم الشكل النهائي للسويات التي تفرز العقد وفق السويات الأربع التي تتشكل من العقد المنشورة عشوائياً بالشكل 14.



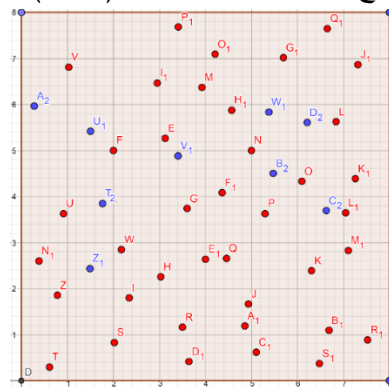
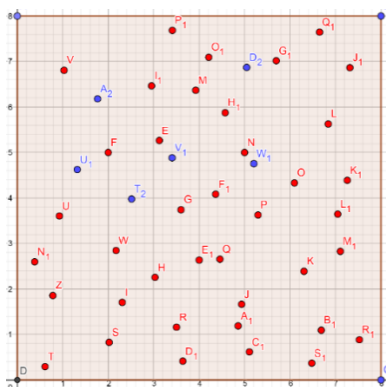
الشكل 14: السويات الأربع لعقد المنشورة عشوائياً في النشر الأولي ومواقع العقد نسبة لها

نلاحظ من الشكل 14 أن الخوارزمية المفروضة استطاعت تحديد العقد الحدودية وكذلك تقسيم العقد المنشورة إلى سويات متعددة. من خلال النظر للعقدة I1 نرى أنها تقع ضمن المستوى الثاني وتقترب من المستوى الأول، وهذا يدل على أنها ليست عقدة حدودية إنما تقترب من أن تكون عقدة حدودية، وهذا موضح بالشكل 11. كما نلاحظ أن العقدة Z لم تحدد بداية على أنها عقدة حدود ولها فعلياً تقترب جداً من المستوى الأول. وهذا

التصنيف فعلياً يرتبط بالمرحلة الأولى للنشر، ولكن التصنيف الأهم يكون عندما تنتهي من دورات الخوارزمية ويتوقف النشر فوق النشر السابق.

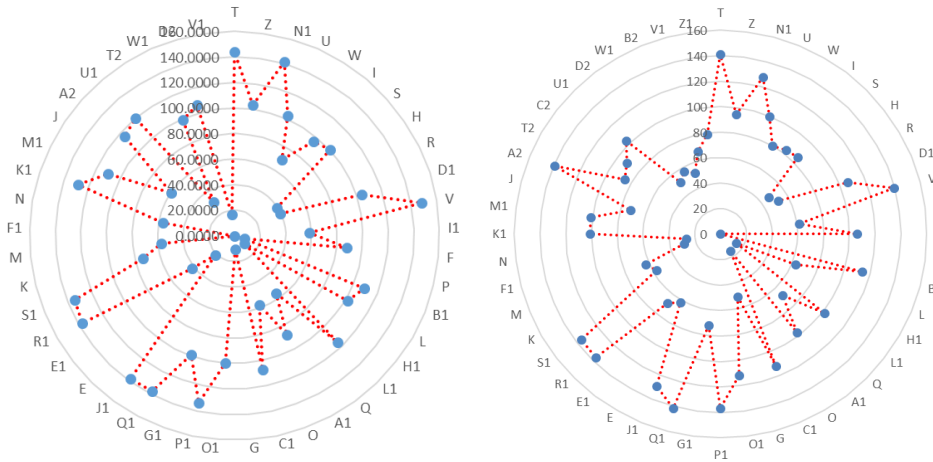
في الحقيقة إن الخوارزمية عند حكمها على جودة النشر وتفحص النشر يتبين أننا بحاجة لنشر جديد فوق النشر الأولي للمسألة المدروسة، لانتطرق في هذا البحث لشرح الآلية المتبعة من قبل الباحث في الخوارزمية لكيفية إجراء عمليات النشر، إنما فقط نبين تحديد العقد الحدودية وتقسيم العقد المنشورة إلى سويات متعددة في دورات النشر العشوائي التالية.

ننتقل إلى المرحلة الثانية في الخوارزمية، حيث وجب النشر فوق النشر الأولي لتحسين النشر الأولي، بحيث ننشر 9 عقد جديدة (توجد إجرائية خاصة في الخوارزمية لتحديد عدد العقد) في حال اعتمد التوزيع المحدد الرباعي كما يتوضح في الشكل 15 من اليمين (حالة 1). وكذلك نشر 6 عقد فوق النشر الأولي عند اعتماد التوزيع المحدد السداسي كما يوضح الشكل 17 من اليسار (حالة 2).



الشكل 15: العقد العشوائية المنشورة في التكرار الثاني للخوارزمية، على اليمين في حال اعتمد التوزيع المحدد الرباعي، واليسار في حال اعتمد التوزيع المحدد السداسي

من خلال دراسة قيمة الانحراف للقيم الناتجة عن تغيرات جوار العقد حسب السوية الطاقية يتبين الشكل 16 الذي يوضح أهمية العقد في المنطقة المستهدفة بناء على تغيرات الجوار في الدورة الثانية وفقاً للتوزيع المحدد المربع ووفقاً للتوزيع المحدد السداسي.



الشكل 16: توضيح العقدة الأكثر أهمية والأقل أهمية في المنطقة المستهدفة في النشر الثاني عند اعتماد التوزيع المنتظم الرباعي على اليمين و المحدد السداسي على اليسار.
 من خلال دراسة النشرين الإضافيين فوق النشر الأولي فإن الخوارزمية المفروضة تحدد العقد الحدودية لكلا المسألتين وهذه العقد مبينة في الجدول 5 وفق التوزيع المحدد الرباعي، وفي الجدول 6 وفق التوزيع المحدد السداسي، والموضحة في الشكل 17.
 الجدول 5: العقد التي حددت كعقد حدودية في الخوارزمية في الدورة الثانية وفق التوزيع السداسي - قيمة الوسط هي (2.7533) بعد النشر العشوائي الثاني

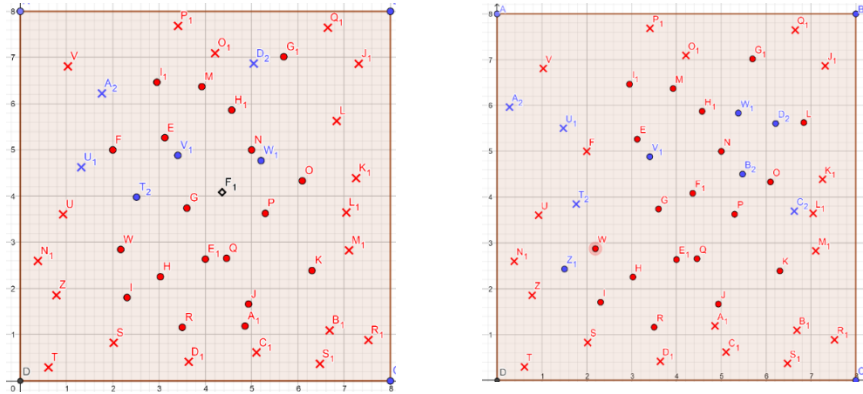
Node	STDEV.p	Node	STDEV.p	Node	STDEV.p
T	0.9682	L1	2.4206	K1	2.4463
Z	2.5981	A1	2.5372	M1	2.4367
N1	1.6394	C1	2.1469	A2	1.0897
U	2.4717	O1	2.1469	T2	2.2220
S	2.8256	P1	1.2183	C2	2.6810
D1	2.2879	Q1	0.9682	U1	2.3848
V	1.0897	J1	1.5762		
F	2.3150	R1	1.2183		
B1	2.0879	S1	1.2686		

الجدول 6: العقد التي حددت كعقد حدودية في الخوارزمية في الدورة الثانية وفق التوزيع السداسي - حيث قيمة الوسط هي (2.4037) بعد النشر العشوائي الثاني.

Node	STDEV.p	Node	STDEV.p	Node	STDEV.p
T	0.9428	L	2.3465	S1	1.3699
Z	2.3094	L1	2.0000	K1	1.5947

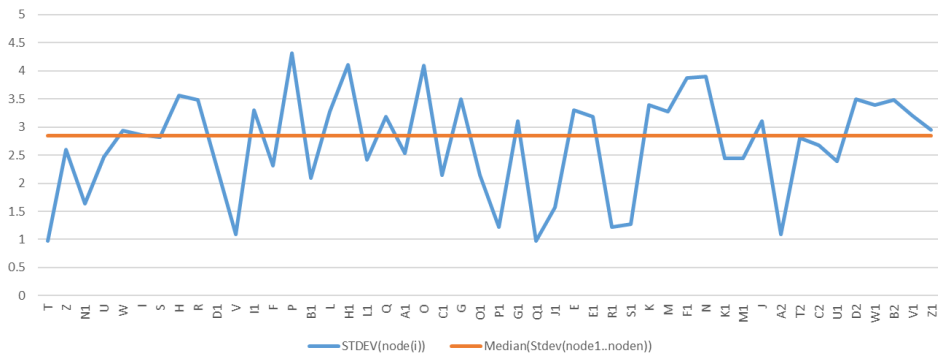
تحديد العقد الحدودية واتصالها معاً في النشر العشوائي في شبكات الحساسات اللاسلكية

N1	1.0541	C1	2.2167	M1	2.1488
U	2.3307	O1	2.4037	A2	2.0000
S	2.3779	P1	1.4229	U1	1.8725
D1	2.2825	Q1	1.2472	D2	2.2333
V	0.6285	J1	1.2273		
B1	2.1660	R1	1.2571		

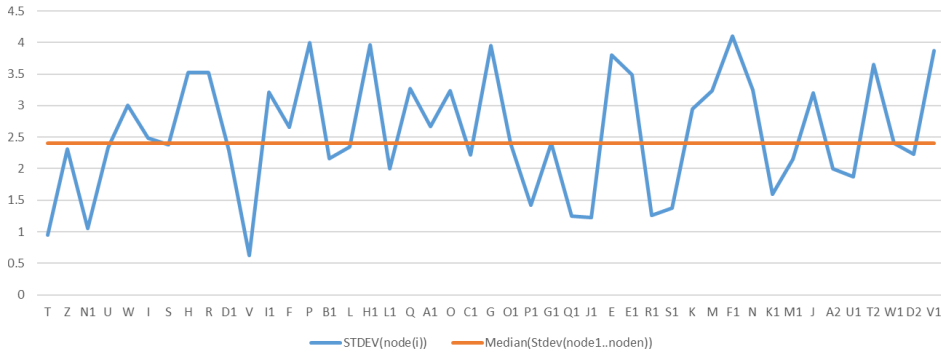


الشكل 17: العقد الحدودية لكلا المسألتين في الدورة الثانية، على اليمين في حال اعتمد التوزيع المحدد الرباعي، واليسار في حال اعتمد التوزيع المحدد السداسي

يبين الشكل 18 و 19 العقد التي تميل لتكون عقد حدود ومدى إقترابها من الحدود أو إقترابها من المركز والتي تحد بالحد الفاصل الذي حسب من المتوسط للانحرافات المعيارية لكلا المسألتين المدروستين وفق التوزيع الرباعي ووفق التوزيع السداسي.



الشكل 18: العقد الحدودية وفق التوزيع الرباعي المحدد في الدورة الثانية



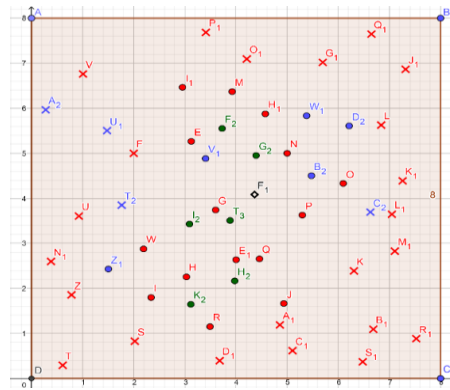
الشكل 19: العقد الحدودية وفق التوزيع السداسي المحدد في الدورة الثانية

كما نلاحظ من الشكلين 18 و 19 أنه تم تحديد العقد الحدودية في كلا التوزيعين لنفس المسألة المدروسة، ومن الملاحظ أن النشر الثاني الذي تم في كلا الحالتين له عدد عقد وله أماكن عشوائية مخلفة، حيث إن عدد العقد المنشورة عشوائياً يرتبط بالتوزيع المحدد المدروس في كل دورة من دورات الخوارزمية. لذا فإن تحديد العقد الحدودية يتحدد وفق العقد المنشورة في الدورة الثانية، حيث نلاحظ أن العقدة F كانت عقدة حدودية في التوزيع المحدد الرباعي في الدورة الثانية للخوارزمية، أما في التوزيع المحدد السداسي لم تكن العقدة F عقدة حدودية. ومن هنا نستنتج أن العقد الحدودية تتعلق بكثافة النشر وبحالة النشر العشوائي للعقد.

في نهاية الدورة الثانية للخوارزمية، ومن خلال حساب جودة النشر فإن الخوارزمية يتبين لها أننا بحاجة لنشر جديد فوق النشر الأولي للمسألة المدروسة في حالة التوزيع المحدد الرباعي فقط، أما نسبة للتوزيع المحدد السداسي فإن الخوارزمية إنتهت عند الدورة الثانية. ننتقل إلى المرحلة الثالثة في الخوارزمية، حيث وجب النشر فوق النشر الثاني لتحسين النشر الثاني، بحيث ننشر 6 عقد جديدة في حال اعتمد التوزيع المحدد الرباعي والمبينة بالشكل 20.

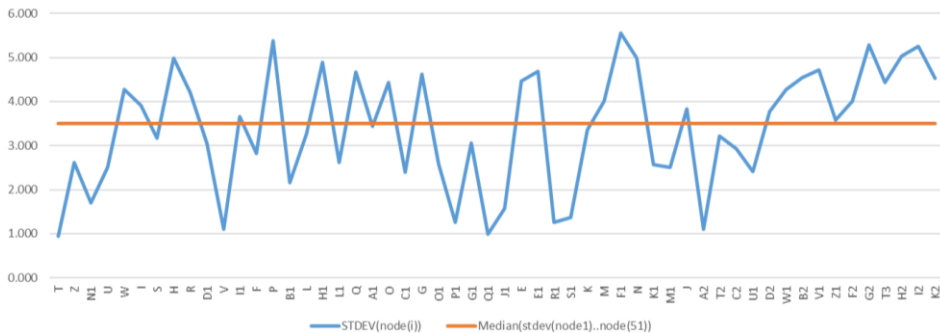
الجدول 7: العقد التي حددت كعقد حدودية في الخوارزمية في الدورة الثالثة وفق التوزيع الرباعي

Node	STDEV.p	Node	STDEV.p	Node	STDEV.p
T	0.943	L	3.266	R1	1.257
Z	2.625	L1	2.625	S1	1.370
N1	1.700	A1	3.432	K	3.367
U	2.499	C1	2.404	K1	2.572
S	3.166	O1	2.582	M1	2.514
D1	3.047	P1	1.257	A2	1.100
V	1.100	G1	3.059	T2	3.224
F	2.828	Q1	0.994	C2	2.936
B1	2.166	J1	1.571	U1	2.409



الشكل 22: العقد الحدودية في الدورة الثالثة في حال اعتمد التوزيع المحدد الرباعي.

برسم المنحني بين الوسط والانحرافات المعيارية للعقد المنشورة لتبيان العقد الحدودية، كما يبين الشكل 23.



الشكل 23: العقد التي تميل لتكون عقد حدود ومستوى اقترابها من الحدود والعقد التي تقع في الوسط في الدورة الثالثة والنهائية وفق التوزيع المحدد الرباعي.

يتبين من الشكل 23 العقد الحدودية في نهاية الخوارزمية وفق التوزع المحدد الرباعي، بحيث العقد التي تقع تحت الخط تكون عقد حدودية، وكلما كانت قيمة الانحراف المعياري للعقدة أصغر فإنها تكون أكثر حدودية من العقد الأخرى. من خلال النظر في الشكل 22 يتبين أن العقد التي على الحدود تم تحديدها فعلياً وها يثبت جدوى الخوارزمية المقترحة.

7.3.2. المتغير α

إن الخوارزمية تحدد عقد الحدود كما ذكرنا سابقاً، ولكن من الممكن أن يكون متوسط الانحرافات للعقد المنشورة ذو قيمة تجعل الكثافة لعقد الحدود في المستوي المطلوب قليلة، أي أن العقد من الصعب أن تتصل مع بعضها وتمر الرسائل فيما بينها، حتى لو عملت بأقصى طاقة بث، يمكن الإستفادة الطريقة إذا أردنا نقل الرسائل ضمن سوية محددة والتي تهتم بها بعض تطبيقات الشبكات الحساسات اللاسلكية.

يهدف تعريف المتغير α إلى زيادة الكثافة أو إنقاصها ضمن مستوي من مستويات العقد، أو لجعل عقد الحدود أكثر أو أقل كثافة. وعادة عندما تكون العقد الحدودية غير قادرة على لاتصال مع بعضها نستخدمه لجعلها تتصل مع بعضها.

يعرف المتغير $\bar{\alpha}$ من قبل الباحث في الخوارزمية المفروضة، حيث تتبع α لكل من الوسط والمتوسط والانحراف المعياري بالعلاقة 8 التالية:

$$|\alpha| = \frac{\text{Median}(STDEV(node_1 \dots node_n)) - \text{AVG}(STDEV(node_1 \dots node_n))}{STDEV(STDEV(node_1) \dots STDEV(node_n))} \dots (8)$$

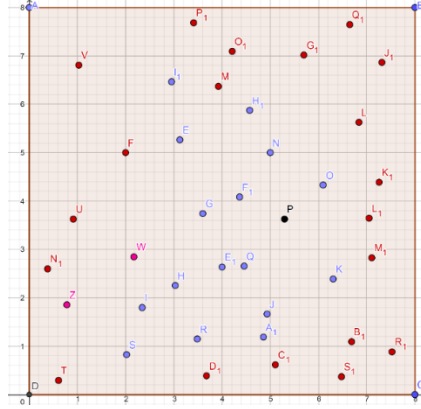
من خلال الشكل 13 يتبين أن كثافة العقد في حدود الشبكة قليلة وهذا يجعل من الصعب على العقد الاتصال مع بعضها ضمن محيط الشبكة فقط، ولكن يمكن زيادة كثافة الحدود للشبكة من خلال المتغير α و إضافته إلى الوسط الذي يزيد من كثافة الحدود، حيث الوسط الجديد الذي يحدد العقد الحدودية مساوي إلى:

$$\text{Median}_i(STDEV(node_1 \dots node_n)) = 2.287875652 \bar{\alpha}$$

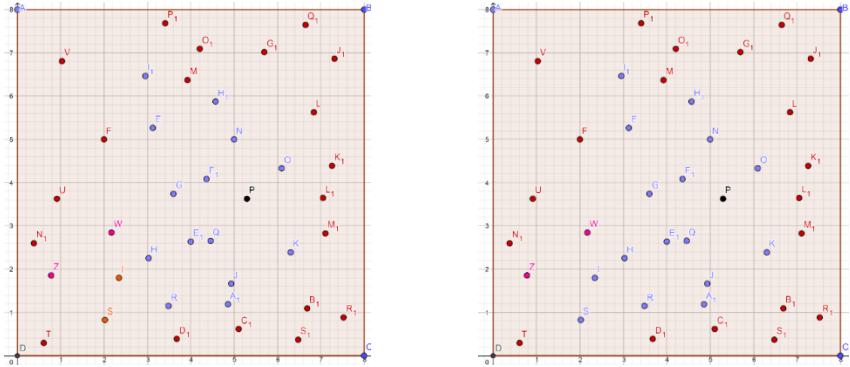
ومن خلال تطبيق المعادلة 8 فإن قيمة $\alpha = 0.119735962$ ، وبإضافتها إلى قيمة الوسط السابق فإن العتبة التي تحدد نقاط الحدود تصبح

$$\text{Median}_1(STDEV(node_1 \dots node_n)) = 2.271563 + 0.119735962 = 2.407611614$$

نلاحظ أن القيمة الجديدة للعتبة زاد عقد الحدود بحيث حددت العقدتين (W, Z) كعقد حدود، الموضح بالشكل 24.



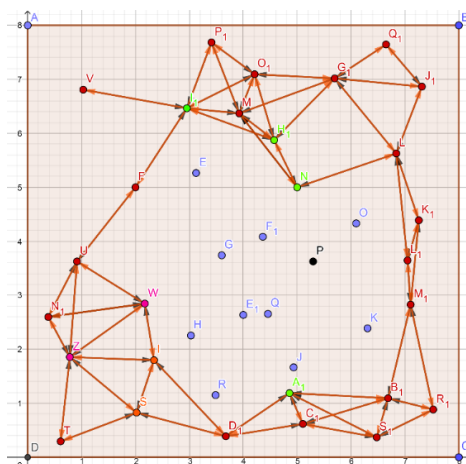
الشكل 24: العقد الحدودية في الدورة الأولى في حال اعتمد التوزيع المحدد الرباعي بإضافة قيمة α . ومن خلال زيادة قيمة α في كل مرة فإننا نزيد من الكثافة الإحتمالية لعقد الحدود والمبينة في الشكل 25.



الشكل 25: العقد الحدودية في الدورة الأولى في حال اعتمد التوزيع المحدد الرباعي بإضافة قيمة 2α من اليمين، و 3α من اليسار.

كما ذكرنا سابقاً تهدف المتغير α إلى زيادة كثافة العقد الحدودية والذي يؤمن الاتصال بين العقد الحدودية لتبادل الرسائل ضمن سوية الحدود أو ضمن سويات أخرى من العقد في الشبكة المنشورة.

لتحقيق الاتصال بين عقد الحدود في المرحلة الأولى من النشر، فإن عقدو عقدة تجميع البيانات توجه كل عقدة من عقد الحدود لتوضع على أعظم سوية طاقة للعقدة التي لاكتشف جوار حدودي (السوية الطاقية التي ترتبط مع عقدتين من عقد الحواف على الأقل). إن الاتصال لن يكون مؤمن ضمن النشر الأول لقلة عدد العقد المنشورة في المنطقة المستهدفة، وعند زيادة قيمة α سيتبين أننا بحاجة لزيادها لعدة مرات لزيادة الكثافة لعقد الحدود حتى يتأمن الاتصال. لذا نعمل على استخدام قيمة α في نهاية عمليات النشر وذلك عندما نصل النشر العشوائي النهائي. يوضح الشكل 26 اتصال عقد الحدود في النشر الأول بعد إضافة قيمة 3α وضبط كل عقدة من عقد الحدود على سوية الطاقة التي لاكتشف بعدها جوار حدودي.



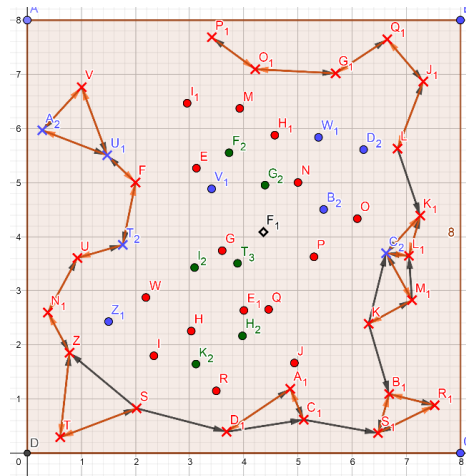
الشكل 26: العقد الحدودية في الدورة الأولى في حال اعتمد التوزيع المحدد الرباعي بإضافة قيمة 3α واتصال العقد الحدودية مع بعضها.

إن النشر العشوائي النهائي تم خلال 3 دورات من الخوارزمية في حالة التوزيع المنتظم الرباعي. نكتب الجدول 8 الموافق للعقد الحدودية في الدورة الثالثة للخوارزمية وفق التوزيع المحدد الرباعي مع سويات الطاقة التي يجب أن تعمل عليها للربط مع عقدتي جوار حدوديتين على الأقل.

الجدول 8: العقد الحدودية في النشر العشوائي الثالث والنهائي مع سويات الطاقة التي تربطها بجوارين حدوديين على الأقل وفق التوزيع المحدد الرباعي

Node	PL%	العقد المرتبطة	Node	PL%	العقد المرتبطة	Node	PL%	العقد المرتبطة
T	80%	S,Z	L	70%	J1,K1	R1	60%	B1,S1
Z	80%	N1,T	L1	40%	C2,K1	S1	60%	B1,R1
N1	60%	U,Z	A1	80%	C1,D1	K	70%	M1,B1,C2
U	60%	T2,N1	C1	70%	A1,S1	K1	50%	L1,C2
S	90%	T,Z,D1	O1	80%	P1,G1	M1	50%	L1,C2,K
D1	80%	A1,C1	P1	50%	O1	A2	70%	V,U1
V	70%	A2,U1	G1	80%	Q1,O1	T2	60%	U,F
F	60%	U1,T	Q1	60%	J1,G1	C2	50%	L1,K1,M1
B1	50%	S1,R1	J1	70%	Q1,L	U1	70%	F,A2,V

بعد رسم الاتصالات وفق الجدول 11 والمبينة في الشكل 27 فإننا نرى أن المسارات بين عقد الجوار تحقق فيها الاتصال، لكن يجب ملاحظة أنه في حال كانت عقدة تجميع البيانات تتصل مع العقدة T مثلاً، فإن المسار من S إلى D هو مسار أحادي وكذلك المسار من C1 إلى S1. هذا يجعل الرسائل تتجهه باتجاه وحيد ولا يمكن تناقل المعلومات بين عقد الحدود.



الشكل 27: المسارات المشكلة بين عقد الحدود في حال عقدتي حدود متصلتين

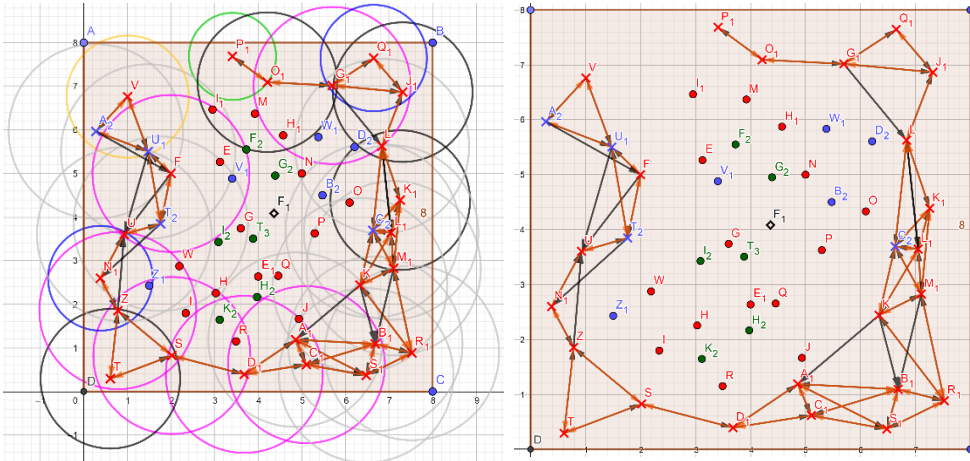
اقترح الباحث حلين لحل هذه المشكلة، أولاً من خلال زيادة طاقة البث للعقد الحدودية وهو موضوع البحث الأساسي إلى سوية الطاقة العظمى التي بعدها لاكتشف العقد الحدودية

تحديد العقد الحدودية واتصالها معاً في النشر العشوائي في شبكات الحساسات اللاسلكية

جوار حدودي، وثانياً من خلال زيادة قيمة المتغير α الذي يزيد من كثافة العقد الحدودية التي تساعد على تأمين الاتصال وتشكيل مسارات جديدة بين عقد الحدود. يبين الجدول 9 العقد الحدودية عند أعظم طاقة لا تكتشف فيها جوار حدودي، والشكل 28 المسارات المشكلة بين عقد الحدود وسويات الطاقة التي حددت لها.

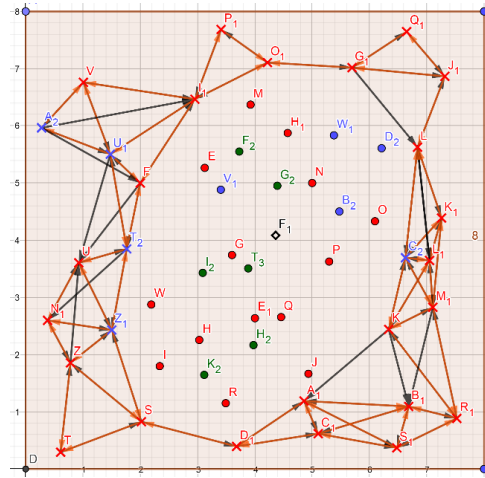
الجدول 9: العقد الحدودية في النشر العشوائي الثالث والنهائي مع سويات الطاقة العظمى التي لا تكتشف العقد الحدودية بعدها جوار حدودي.

Nod e	PL %	العقد المرتبطة	Nod e	PL %	العقد المرتبطة	Nod e	PL %	العقد المرتبطة
T	80%	S,Z	L	100%	J1,K1,L1,C2	R1	100%	B1,S1,K,M1
Z	90%	N1,T,S,U	L1	100%	C2,K1,M1,K,L	S1	100%	B1,R1,C1,A1
N1	60%	U,Z	A1	100%	C1,D1,S1,B1	K	100%	M1,B1,C2,L1,R1,A1
U	100%	T2,N1,Z,U1	C1	90%	A1,S1,D1,B1	K1	80%	L1,C2,L,M1
S	90%	T,Z,D1	O1	80%	P1,G1	M1	100%	L1,C2,K,K1,B1,R1
D1	90%	A1,C1,S	P1	50%	O1	A2	100%	V,U1,F
V	70%	A2,U1	G1	90%	Q1,O1,J1,L	T2	100%	U,F,U1,N1
F	90%	U1,T,U	Q1	60%	J1,G1	C2	100%	L1,K1,M1,K,L
B1	100%	S1,R1,C1,A1	J1	80%	Q1,L,G1	U1	100%	F,A2,V,T2,U



الشكل 28: المسارات المشكلة بين عقد الحدود في حال الإستطاعة العظمى لعقد الجوار التي لا تكتشف بعدها جوارها وسويات الطاقة المحددة لها (وفق التوزيع المحدد الرباعي)

نلاحظ من الشكل 27 أن مسار عقد الحدود لم يغلق وذلك لوجود فجوة في العقد المنشورة في منطقة العقدة I1، كما نلاحظ أن العقدة P1 ارتبطت بجوار حدودي واحد فقط، في هذه الحالة نستخدم المتغير α لزيادة كثافة العقد الحدودية. بالعودة إلى الشكل 23 نرى أن العقدة I1 قريبة من خط الوسط وإن زيادة قيمة الوسط سيدخل I1 كعقدة حدود. إن قيمة الوسط هي (3.50755119) بعد النشر العشوائي الثالث و قيمة $\alpha = 0.076610023$ ، إن زيادة قيمة α لمرة واحدة لن تكفي لدخول العقدة I1 لذا نعمل على زيادة الوسط بمقدار 2α . تدخل العقدتين (I1 و Z1) كعقد حدود ومنه يتأمن الاتصال بين عقد حدود الشبكة بسبب زيادة الكثافة في عقد الحدود. والمبينة بالشكل 29.



الشكل 29: المسارات المشكلة بين عقد الحدود في حال الإستطاعة العظمى لعقد الجوار التي لاكتشف بعدها حدود جوارية وسويات الطاقة المحددة لها بزيادة 2α

8- نتائج البحث

إن الخوارزمية المفروضة في الجزء المتعلق "بدراسة عقد الحدود" فإنها استطاعت تحديدها، إن تحديد الحدود للشبكة من الأمور المهمة وخصوصاً في شبكات الحساسات اللاسلكية المنشورة عشوائياً.

عملت الخوارزمية المقترحة على تحديد العقد الحدودية من دون استخدام أجهزة الموضع، وهي طريقة فعالة وتقلل من التكلفة لأجهزة الحساسات. إن تحديد الحدود يتم بشكل مركزي في عقدة تجميع البيانات.

استطاعت الخوارزمية تقسيم الشبكة إلى سويات متعددة والتي يمكن استثمارها في أعمال المراقبة والحماية.

كذلك استخدام المعامل α حسن من اتصال العقد الحدودية مع بعضها. من أجل نقل البيانات ضمن مستوي محدد.

9- خلاصة الدراسة البحثية

مما سبق تبين أن هذا البحث قد أعطى النتيجة التالية:

- 1- تمكنت الخوارزمية من تحديد عقد الحدود بشكل فعال في كل دورات الخوارزمية.
- 2- استخدام مفهوم التغير في طاقة الإرسال من أجل ربط العقد الحدودية مع بعضها.
- 3- يمكن توظيف الحدود لحماية منطقة ما أو من أجل حساب المساحة التي يغطيها النشر العشوائي.

4- إن الطريقة المتبعة في تحديد الحدود مركزية.

5- إن التعقيد الحسابي بسيط من خوارزمية كشف الحدود.

10- المقترحات والتوصيات

المقترحات والتوصيات التالية:

- 1- تطوير الخوارزمية لتحديد الفجوات في التغطية بشكل دقيق.
- 2- تطوير الخوارزمية لتعمل بشكل لامركزي.
- 3- إن هذه الطريقة بسيطة من حيث تعقيدها الحسابي وتعمل من دون أجهزة تحديد الموضوع أو من دون استخدام معادلات رياضية معقدة كما في بعض الطرق في الدراسات المرجعية.
- 4- يمكن إسقاط "طريقة تحديد الحدود" المفروضة على أي نوع من أنواع النشر العشوائي لعقد الحساسات اللاسلكية أو لأي نوع من المرسلات اللاسلكية ثنائية الإتجاه.

المراجع References

- [1] din, M. S. U., Rehman, M. A. U., Ullah, R., Park, C. W., & Kim, B. S. (2020). Towards Network Lifetime Enhancement of Resource Constrained IoT Devices in Heterogeneous Wireless Sensor Networks. Sensors, 20(15), 4156.
- [2] Amutha, J., Sharma, S., & Nagar, J. (2019). WSN Strategies Based on Sensors, Deployment, Sensing Models, Coverage and Energy Efficiency: Review, Approaches and Open Issues. Wireless Personal Communications, 111(2), 1089–1115.
- [3] Gola, K. K., & Gupta, B. (2019). Efficient Node Deployment Algorithm for Enhancing Connectivity and Coverage in Underwater Sensor Networks. Sensor Letters, 17(12), 947–954.
- [4] Vergin Raja Sarobin M., & Ganesan R. (2018). Deterministic node deployment for connected target coverage problem in heterogeneous wireless sensor networks for monitoring wind farm. In S. SenGupta, A. Zobaa, K. Sherpa, A. Bhoi (Eds.) *Advances in smart grid and renewable energy. Lecture notes in electrical engineering* (pp. 683–694). Singapore: Springer.
- [5] Priyadarshi, R., Gupta, B., & Anurag, A. (2020). Deployment techniques in wireless sensor networks: a survey, classification, challenges, and future research issues. The Journal of Supercomputing, 76(9), 7333–7373.
- [6] Bounceur, A., Bezoui, M., & Euler, R. (2018). *Boundaries and Hulls of Euclidean Graphs: From Theory to Practice* (1st ed.). Chapman and Hall/CRC.
- [7] Bounceur, A., Bezoui, M., Hammoudeh, M., Lagadec, L., & Euler, R. (2019). Finding the polygon hull of a network without conditions on the starting vertex. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, e3696.
- [8] Patra, S., & Sau, B. (2016). Detecting Hole Boundary Nodes in WSN under Distributed Environment. 2016 IEEE 6th International Conference on Advanced Computing (IACC). Published.
- [9] Rafiei, A., Abolhasan, M., Franklin, D., & Safaei, F. (2011). Boundary node selection algorithms in WSNs. 2011 IEEE 36th Conference on Local Computer Networks. Published.
- [10] Das, S., & DebBarma, M. K. (2020). A Review on Coverage-Hole Boundary Detection Algorithms in Wireless Sensor Networks. Computación y Sistemas, 24(1).

- [11] Wei, L., Song, X., & Zheng, X. (2018). Coordinate-Free Boundary Nodes Identification by Angle Comparison in Wireless Sensor Networks. *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, **Social Informatics and Telecommunications Engineering***, 3–12.
- [12] CupCarbon Manual
- [13] Akbar, N. K., Isa, F. N. M. M., Abidin, H. Z., & Yassin, A. I. (2017). Comparison study on mobile sensor node redeployment algorithms. 2017 **IEEE 13th Malaysia International Conference on Communications (MICC)**. Published.
- [14] Yick, J., Mukherjee, B., & Ghosal, D. (2008). Wireless sensor network survey. **Computer Networks**, 52(12), 2292–2330.
- [15] Al-Karaki, J. N., & Gawanmeh, A. (2017). The Optimal Deployment, Coverage, and Connectivity Problems in Wireless Sensor Networks: Revisited. **IEEE Access**, 5, 18051–18065.
- [16] Jiang, Y., Xiao, S., Liu, J., Chen, B., Zhang, B., Zhao, H., & Jiang, Z. (2018). A Deterministic Sensor Deployment Method for Target Coverage. **Journal of Sensors**, 1–14.
- [17] Liu, L., Xia, F., Wang, Z., Chen, J., & Sun, Y. (2005). Deployment Issues in Wireless Sensor Networks. **Lecture Notes in Computer Science**, 239–248.
- [18] Senouci M, Mellouk A, Aissani A (2014) Random deployment of wireless sensor networks: a survey and approach. **Int J Ad Hoc Ubiquitous Comput** 15:133–146
- [19] Hao, X., Yao, N., Wang, L., & Wang, J. (2020). Joint resource allocation algorithm based on multi-objective optimization for wireless sensor networks. **Applied Soft Computing**, 94, 106470.
- [20] Gong, X., Plets, D., Tanghe, E., De Pessemier, T., Martens, L., & Joseph, W. (2018). An efficient genetic algorithm for large-scale transmit power control of dense and robust wireless networks in harsh industrial environments. **Applied Soft Computing**, 65, 243–259.
- [21] Hung, C. W., Zhang, H. J., Hsu, W. T., & Zhuang, Y. D. (2020). A Low-Power WSN Protocol with ADR and TP Hybrid Control. **Sensors**, 20(20), 5767.
- [22] Sodhro, A., Sangaiah, A., Sodhro, G., Lohano, S., & Pirbhulal, S. (2018). An Energy-Efficient Algorithm for Wearable Electrocardiogram Signal Processing in Ubiquitous Healthcare Applications. **Sensors**, 18(3), 923.
- [23] Ikram, W., Petersen, S., Orten, P., & Thornhill, N. F. (2014). Adaptive Multi-Channel Transmission Power Control for Industrial

- Wireless Instrumentation. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, 10(2), 978–990.
- [24] Zhang, L., & Sun, J. (2017). Channel allocation and power control scheme over interference channels with QoS constraints. 2017 **13th IEEE International Conference on Control & Automation (ICCA)**.
- [25] Sodhro, A. H., Chen, L., Sekhari, A., Ouzrout, Y., & Wu, W. (2018). Energy efficiency comparison between data rate control and transmission power control algorithms for wireless body sensor networks. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, 14(1), 155014771775003.
- [26] Chincoli, M., & Liotta, A. (2018). Self-Learning Power Control in Wireless Sensor Networks. *Sensors*, 18(2), 375.
- [27] Barceló, M., Correa, A., Vicario, J., & Morell, A. (2014). Joint routing, channel allocation and power control for real-life wireless sensor networks. **Transactions on Emerging Telecommunications Technologies**, 26(5), 945–956.
- [28] Mohsan, S. A. H., Amjad, H., Mazinani, A., Adil, S., Ali, M., Islam, A., Mahmood, A., & Soban, A. (2020). Investigating Transmission Power Control Strategy for Underwater Wireless Sensor Networks. **International Journal of Advanced Computer Science and Applications**, 11(8).
- [29] Mirza, M. Y. M., Ahmed, G., & Khan, N. M. (2017). Model-Based Adaptive Transmission Power Control (MATPoC) for Wireless Sensor Networks in Fading Environment. **Journal of Circuits, Systems and Computers**, 26(09), 1750143.
- [30] Kubisch, M., Karl, H., Wolisz, A., Zhong, L., & Rabaey, J. (2003). Distributed algorithms for transmission power control in wireless sensor networks. 2003 **IEEE Wireless Communications and Networking**, 2003. WCNC 2003. Published.
- [31] Correia, L. H., Macedo, D. F., dos Santos, A. L., Loureiro, A. A., & Nogueira, J. M. S. (2007). Transmission power control techniques for wireless sensor networks. **Computer Networks**, 51(17), 4765–4779.
- [32] Zurita Ares, B., Park, P. G., Fischione, C., Speranzon, A., & Johansson, K. H. (2007). On power control for wireless sensor networks: System model, middleware component and experimental evaluation. 2007 **European Control Conference (ECC)**. Published.
- [33] Quevedo, D. E., & Ahlen, A. (2008). A predictive power control scheme for energy efficient state estimation via wireless sensor networks. 2008 47th **IEEE Conference on Decision and Control**.

- [34] Dongjin Son, Krishnamachari, B., & Heidemann, J. (2004). Experimental study of the effects of transmission power control and blacklisting in wireless sensor networks. 2004 **First Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks**, 2004. IEEE SECON 2004.
- [35] Lin, S., Miao, F., Zhang, J., Zhou, G., Gu, L., He, T., Stankovic, J. A., Son, S., & Pappas, G. J. (2016). ATPC. Adaptive Transmission Power Control for Wireless Sensor Networks, **ACM Transactions on Sensor Networks** 12(1), 1–31.
- [36] Masood, M. M. Y., Ahmed, G., & Khan, N. M. (2012). A Kalman filter based adaptive on demand transmission power control (AODTPC) algorithm for wireless sensor networks. 2012 **International Conference on Emerging Technologies**. Published.
- [37] Ahmed, G., & Khan, N. M. (2016). Adaptive Power-Control Based Energy-Efficient Routing in Wireless Sensor Networks. **Wireless Personal Communications**, 94(3), 1297–1329.
- [38] Sabitha, R., Bhuma, K. T., & Thyagarajan, T. (2015). Design and Analysis of Fuzzy Logic and Neural Network Based Transmission Power Control Techniques for Energy Efficient Wireless Sensor Networks. **Advances in Intelligent Systems and Computing**, 295.
- [39] Chincoli, M., Syed, A. A., Exarchakos, G., & Liotta, A. (2016). Power Control in Wireless Sensor Networks with Variable Interference. **Mobile Information Systems**, 2016, 1–10.
- [40] kotian, R., Exarchakos, G., & Liotta, A. (2014). Assessment of Proactive Transmission Power Control for Wireless Sensor Networks. **Proceedings of the 9th International Conference on Body Area Networks**. Published.
- [41] Cai, B., Sang, Q., & Yang, K. (2018). Boundary node detection for WSNs based on simple community percolation. **The Journal of Engineering**, 2018(16), 1785–1792.
- [42] Funke, S., & Klein, C. (2006). Hole detection or. **Proceedings of the Twenty-Second Annual Symposium on Computational Geometry - SCG '06**. Published.
- [43] Chu, W. C., & Ssu, K. F. (2014). Location-free boundary detection in mobile wireless sensor networks with a distributed approach. **Computer Networks**, 70, 96–112.
- [44] Cheong, S. H., & Si, Y. W. (2018). Boundary Node Detection and Unfolding of Complex Non-Convex Ad Hoc Networks. **ACM Transactions on Sensor Networks**, 14(1), 1–34.

- [45] Saukh, O., Sauter, R., Gauger, M., & Marrón, P. J. (2010). On boundary recognition without location information in wireless sensor networks. **ACM Transactions on Sensor Networks**, 6(3), 1–35.
- [46] Ghrist, R., & Muhammad, A. (2005). Coverage and hole-detection in sensor networks via homology. IPSN 2005. **Fourth International Symposium on Information Processing in Sensor Networks**, 2005.
- [47] Li, X., & Hunter, D. K. (2008). Distributed Coordinate-Free Hole Recovery. ICC Workshops - 2008 **IEEE International Conference on Communications Workshops**. Published.
- [48] Hsieh, K. Y., & Sheu, J. P. (2009). Hole detection and boundary recognition in wireless sensor networks. 2009 **IEEE 20th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications**. Published.
- [49] Feng Yan, Martins, P., & Decreusefond, L. (2011). Connectivity-Based Distributed Coverage Hole Detection in Wireless Sensor Networks. 2011 **IEEE Global Telecommunications Conference - GLOBECOM 2011**. Published.
- [50] Wan, S., & Zhang, Y. (2017). Coverage Hole Bypassing in Wireless Sensor Networks. **The Computer Journal**, 60(10), 1536.
- [51] Khedr, A. & Attia, A. (2018). New holes and boundary detection algorithm for heterogeneous wireless sensor networks. **International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS)**, Vol. 10, No. 1.
- [52] Khan, I., Zeadally, S., & Jabeur, N. (2012). Hop-based approach for holes and boundary detection in wireless sensor networks. **IET Wireless Sensor Systems**, 2(4), 328–337.
- [53] Huang, B., Wu, W., Gao, G., & Zhang, T. (2014). Recognizing Boundaries in Wireless Sensor Networks Based on Local Connectivity Information. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, 10(7), 897039.
- [54] Shin, I., Pham, N. D., & Choo, H. (2009). Virtual Convex Polygon Based Hole Boundary Detection and Time Delay Based Hole Detour Scheme in WSNs. **Lecture Notes in Computer Science**, 619–627.
- [55] Moustafa Kouider Elouahed, H. Haffaf. (2017). Self-Identification of Boundary's Nodes in Wireless Sensor Networks. **Journal of Information Processing Systems**. Published.
- [56] Lhwani, A., Mosallam, A. A., Alawneh, A., Awad, A., & Othman, O. (2019). A Low Power Boundary Nodes Detection Algorithm for Wireless Sensor Networks (WSNs). **Proceedings of the 3rd**

International Conference on Future Networks and Distributed Systems. Published.

[57] Panichpapiboon, S., Ferrari, G., & Tonguz, O. (2006). Optimal Transmit Power in Wireless Sensor Networks. **IEEE Transactions on Mobile Computing**, 5(10), 1432–1447.

[58] Thuy T. Truong, Kenneth N. Brown, Cormac J. Sreenan. (2016). Demo Deploying a drone to restore connectivity in a WSN. EWSN '16: **Proceedings of the 2016 International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks**, Feb 2016 P 239–240.

[59] Corke, P., Hrabar, S., Peterson, R., Rus, D., Saripalli, S., & Sukhatme, G. (2006). Deployment and Connectivity Repair of a Sensor Net with a Flying Robot. **Springer Tracts in Advanced Robotics**.

[60] Al-Turjman, F. M., Hassanein, H. S., & Ibnkahla, M. (2013). Quantifying connectivity in wireless sensor networks with grid-based deployments. **Journal of Network and Computer Applications**, 36(1), 368–377.

[61] Kim, Y. H., Kim, C. M., Yang, D. S., Oh, Y. J., & Han, Y. H. (2012). Regular sensor deployment patterns for p-coverage and q-connectivity in wireless sensor networks. **The International Conference on Information Network** 2012. Published.

[62] kotian, R., Exarchakos, G., & Liotta, A. (2014). Assessment of Proactive Transmission Power Control for Wireless Sensor Networks. **Proceedings of the 9th International Conference on Body Area Networks**. Published.

[63] Yunxia Chen, & Qing Zhao. (2005). On the lifetime of wireless sensor networks. **IEEE Communications Letters**, 9(11), 976–978.

[64] Buchli, B., Sutton, F., & Beutel, J. (2012). GPS-Equipped Wireless Sensor Network Node for High-Accuracy Positioning Applications. **Lecture Notes in Computer Science**, 179–195.

[65] Saad, E., Elhosseini, M., & Haikal, A. Y. (2018). Recent achievements in sensor localization algorithms. **Alexandria Engineering Journal**, 57(4), 4219–4228.