

تحديد العقدة الأكثر أهمية والأقل أهمية في النشر العشوائي لشبكات 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. يتم نشر عقد المستشعرات اللاسلكية عشوائياً بشكل عام في البيئات القاسية التي يتعذر الوصول إليها. لهذه الأسباب من المفترض أن تعمل عقد الحساسات على مدى فترات زمنية طويلة دون تدخل بشري أي إطالة عمر الشبكة ما أمكن.

قام الباحث بتطوير خوارزمية "سوية طاقة الإرسال المتكيفة حسب النشر العشوائي للعقد" والتي تعمل على الاستفادة من تغيير سوية طاقة الإرسال بشكل تكييفي حسب النشر العشوائي والبيئة لضمان تقليل طاقة الإرسال للعقد وإطالة عمر الشبكة.

تتضمن الخوارزمية المقترحة تحديد السويات الطاقية نسبة للنشر العشوائي وتحديد المسارات المحتملة في الشبكة وذلك للوصول لترباط عالي بين العقد، وأيضاً تحدد العقد الأكثر أهمية التي خروجها من الشبكة يؤدي إلى إنهيار 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 التالي فوق النشر الأولي لتحسين جودة النشر.

يتم التركيز في هذا البحث على العقد الأكثر أهمية والعقد الأقل أهمية للنشر العشوائي.

الكلمات المفتاحية:

شبكات الحساسات اللاسلكية - التحكم في طاقة الإرسال - التحكم في طاقة الإرسال بشكل تكييفي -

النشر العشوائي.

Determine the most and least important node in the random deployment of WSN

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 a wide range of applications, such as environment monitoring, event detection, etc. These applications aim to collect information about a specific phenomenon or event. Sensor nodes are generally randomly deployed in harsh and inaccessible environments. For these reasons, the sensor nodes are supposed to operate over long periods of time without human intervention, meaning extending the network's life as much as possible.

The researcher developed an algorithm for "adaptive transmission power level according to node random deployment" which makes use of adaptive transmission power level change according to random deployment and environment to ensure the transmission power of the nodes is reduced and the network life is prolonged.

The presented algorithm includes determining the energy levels relative to random deployment, identifying possible paths in the network, reaching high interconnections between nodes, identifying the most important nodes whose exit from the network in the deployment leads to the collapse of the network, identifying edge nodes or least important nodes in the deployment, and identifying the weakest coverage areas that represent gaps in the network and Specifies the number needed for the next deployment over the initial deployment to improve the quality of the deployment.

The focus of this paper is on the most important and least important nodes for random deployment.

Keywords- WSN; TPC; ATPC; Random deployment

1- مقدمة

يفرض لدينا مساحة عمل أو منطقة مستهدفة Target Area (تسمى أيضا ROI region of interest أو FOI field of interest) يراد نشر مجموعة من الحساسات عليها، لتكن محددة الأبعاد ذات مساحة D وهي 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، وهذه البيئة هي بيئة خطيرة لا يمكن للإنسان الوصول أو التنقل ضمنها ومن الممكن أن تتعرض لقلبات من براكين أو هزات أرضية أو انجراف صخور وتربة... الخ. في هذه الحالة يكون خيار النشر العشوائي للعقد ضمن بيئة العمل هو الخيار المتاح.

تجمع عقد الحساسات المعلومات وتعيد توجيهها نحو عقدة تجميع البيانات sink عبر الاتصال اللاسلكي. عادة تكون العقد محدودة الموارد من حيث الطاقة والقدرة الحسابية وسعة التخزين ونطاق الاتصال. عقد WSN (Wireless Sensor Networks) 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 المقترحة 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.

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 [2].

إن إمكانية تحديد العقد وخواصها بالنسبة للشبكة يعتبر معامل مهم لطريقة التعامل مع العقد ضمن الشبكة والتي تساعد في تحديد حدود الشبكة والفجوات والأهمية للعقد المنشورة عشوائياً.

2-هدف مشروع البحث

يهدف هذا البحث إلى تحديد العقد الأقل أهمية التي خروجها من الشبكة لا يؤدي إلى انهيار الشبكة ومن الممكن أن يستمر عمل الشبكة من دونها في النشر العشوائي، كذلك العقد الأكثر أهمية والتي تعتبر عقد وصل الشبكة والتي يعتبر خروجها من الشبكة مؤثراً بشكل سلبي ومن الممكن أن تؤدي إلى انهيار الشبكة. من خلال معرفة أهمية العقد للتوزع العشوائي فإن الخوارزمية تراقب العقد الأكثر أهمية والتي اذا تعطلت أو انتهت مدخرتها فإنه يمكن تعويضها من خلال عقد تعويض تكون خارج المنطقة المستهدفة وترسل إلى نفس موقع العقدة السابقة من خلال طائرة مسيرة بحيث تتوضع بنفس مكانها لإستمرارية عمل الشبكة لأطول فترة ممكنة. كذلك يمكن تحديد حدود الشبكة وفجوات التغطية.

3-أهمية البحث

تتمثل أهمية البحث في كون الخوارزمية تستطيع فرز العقد المنشورة عشوائياً لشبكة الحساسات اللاسلكية من أجل تحديد مجموعة العقد الأكثر أهمية للنشر الذي تم في المنطقة المستهدفة وذلك بطريقة فريدة لم تستخدم سابقاً والتي تمثل عصب الشبكة المنشورة والتي يمر منها أغلب رسائل العقد وإن تعطلها أو خروجها لسبب ما أو نضوب مدخرتها المبكر بسبب كمية الرسائل التي تمر منها مقارنة مع العقد الأخرى يخلخل عمل الشبكة، تستخدم هذه المعلومات من أجل مراقبة هذه العقد وتحديدها للتعويض عنها بعقد أخرى لإستمرار عمل الشبكة.

4-مواد وطرائق البحث

اختبرت الخوارزمية موضوع البحث على مسائل اختبارية متعددة عشوائية حيث تم نشر عقد بأعداد مختلفة عشوائياً ضمن منطقة الاهتمام ROI التي يراد مراقبتها من قبل الحساسات وتم تطبيق الخوارزمية المقترحة 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 [3].

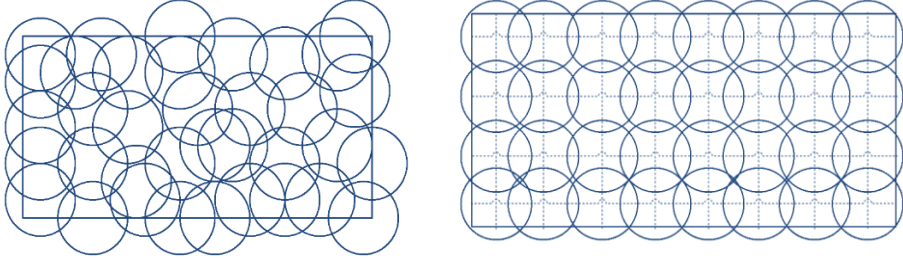
5- النشر العشوائي والمحدد لشبكات الحساسات اللاسلكية

في النشر العشوائي، تنتشر الحساسات فوق منطقة المراقبة لاستشعار منطقة الاهتمام المستهدفة. نلجأ للنشر العشوائي عندما لا يكون التدخل البشري ممكناً بسهولة وعندما تكون المعلومات حول المنطقة غير معروفة سابقاً مثل حرائق الغابات، ومناطق الكوارث، وتلوث الهواء [4]، 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 [5]. 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 [6].

يتم التعامل مع النشر المحدد للحساسات في البيئة الأمنة أو الودية friendly environments.

إن هدف الخوارزمية المقترحة 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، إن هذه المنهجية 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 [7] كما في الشكل 1.



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

6-دراسات مرجعية

تعد طاقة الإرسال في الاتصالات اللاسلكية عاملاً رئيسياً لاستهلاك الطاقة. تعمل منهجية التحكم في طاقة الإرسال TPC على تقليل قدرة الإرسال إلى أدنى حد ممكن للحفاظ على جودة الاتصال [14،15]. درس المرجع [10] التحكم بطاقة الإرسال بالإضافة إلى معدل نقل البيانات أيضاً وهو عامل رئيسي يؤثر على استهلاك الطاقة. اقترح المرجع [11] خوارزمية للتحكم في قدرة الإرسال الموفرة للطاقة ETPC والتي تستند إلى تقدير القناة اللاسلكية وهذه الخوارزمية الموفرة للطاقة لمعالجة إشارة مخطط كهربية القلب التي يمكن ارتداؤها في تطبيقات الرعاية الصحية في كل مكان. كذلك قدم المرجع [12] التحكم في طاقة الإرسال متعدد القنوات التكيفي للأجهزة الصناعية اللاسلكية. بينما ركز المرجع [13] بشكل أساسي على خوارزمية تخصيص القنوات المشتركة joint channel allocation والتحكم في الطاقة. بينما ركز المرجع [8] على تخصيص الموارد لتخصيص الفجوة الزمنية المشتركة وتخصيص القنوات والتحكم في الطاقة لشبكات الاستشعار اللاسلكية متعددة القنوات MRMC WSN، والذي اعتمد على خوارزمية PSO (Particle swarm optimization) متعددة الأهداف وحسنها للوصول للحل الأمثل. قام المرجع [9] بتقديم خوارزمية جينية فعالة للتحكم في طاقة الإرسال على نطاق واسع للشبكات اللاسلكية الكثيفة والقوية في البيئات الصناعية

القاسية، تم تصميم خوارزمية جينية فعالة GA، تسمى GATPC لحل نموذج TPC في IWLANS. قدم المرجع [14] مقارنة بين خوارزمية التحكم في معدل نقل الفيديو وخوارزميات التحكم في قدرة الإرسال، حيث قام بتنشيط طاقة الإرسال ودرس التغيير بمعدل نقل البيانات الفيديوية وكذلك بتنشيط 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 شبكات مستشعرات الجسم اللاسلكية Wireless Body Sensor Networks. وناقش المرجع [16] تقنية إدارة الطاقة الديناميكية لتعزيز كفاءة الطاقة. درس المرجع [17] إستراتيجية التحكم في قدرة الإرسال لشبكات الاستشعار اللاسلكية تحت الماء. قام المرجع [18] 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، كم قدم مقارنة بين تقنيات التحكم في طاقة الإرسال التكيفية. يوجد العديد من الأبحاث درس التغيير في طاقة الإرسال إما وفق متطلبات الشبكة وغير تكيفي [23,22,21,20,27] كذلك يوجد أبحاث درست التغيير في سوية الطاقة بشكل تكيفي، قدم المرجع [24] منهجية ATPC التحكم في قدرة الإرسال التكيفي للعثور على مستوى الطاقة الأكثر ملاءمة للعقد. قدم المرجع [25] 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 [26] دمجاً بين تقنية التوجيه APCEER والتحكم بطاقة الإرسال، من أجل تقليل التداخل بين نطاقات الإرسال للعقد. قام المؤلفون في المرجع [27] بتقديم تقنية للتحكم بطاقة الإرسال باستخدام الشبكات العصبونية ANN والتحكم الضبابي FLC. قم الباحث في المرجع [28] بالبحث في إمكانية تطبيق التحكم في طاقة الإرسال للتخفيف من التداخل في شبكات الحساسات اللاسلكية. حسن الباحث في المرجع [29] التنبؤ بطاقة الإرسال التكيفية من حيث الدقة وفعالية الطاقة وسهولة الإعداد. قدم المرجع [15] تقنية معتمدة على التعلم الآلي للوصول بالعقد اللاسلكية إلى أدنى مستوى ممكن من طاقة الإرسال، وبالتالي تحقيق متطلبات الجودة.

7- الخوارزمية المقترحة " 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 مستوي 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 لاقدم رسالة من البالوعة من أجل أن ترسل هذه أجل الخطوات التالية للخوارزمية.

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 الاتصال 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) [30، 31].

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 في محيط الشبكة تقوم بالتراسل مع جميع العقد المنشورة في المنطقة وتأخذ من كل عقدة مجموعة من البارامترات مثل (المسافة عن كل جوار و طاقة 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 بالوعدة بتحديد قيم طاقة الإرسال لكل عقدة من العقد ومن ثم إعطاء أمر البدء بمرحلة التشغيل.

مرحلة التشغيل:

بعد تطبيق الخوارزمية المقترحة وإرسال قيم السويات الطاقية التي ستضبط عليها العقد من بالوعدة 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 مثلا 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 الارسال لها إلى 100% وفي هذه الحالة إذا تحقق شرط الاتصال الثنائي أو لم يتحقق فإن العقدة تقوم بإرسال معلوماتها الجديدة إلى البالوعة والتي بدورها تقوم بتقييم وضع الشبكة من جديد وإعطاء بارامترات التشغيل الجديدة لهذه العقدة وللعد المجاورة المتأثرة، أما إذا لم يتحقق الاتصال بين هذه العقدة والجوار فإن عقد الجوار ستقوم بإعلام البالوعة 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 بارامترات التشغيل للشبكة من جديد من قبل البالوعة.

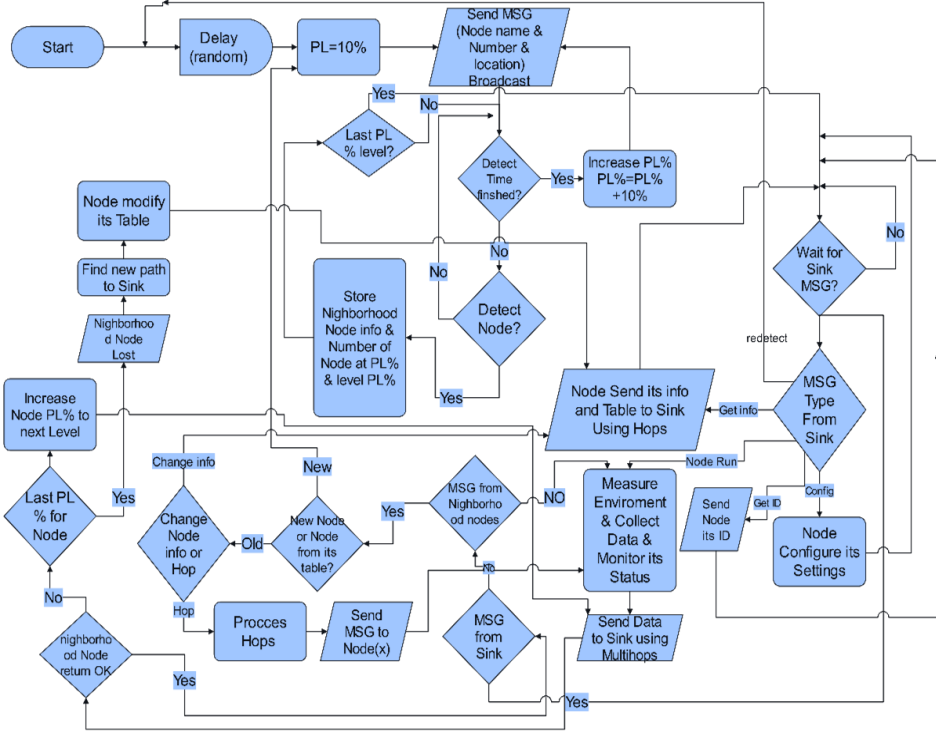
في النتيجة ستعمل العقد بطاقات ارسال مختلفة وبالتالي يمكن أن تخرج العقد التي تعمل بطاقات ارسال أكبر من غيرها بفترة زمنية أقل، وفي هذه الحالة ستقوم البالوعة بإعادة تشغيل الشبكة ببارامترات جديدة ويستمر عمل الشبكة بشكل سليم ومقبول مع فقدان بعض العقد والتي تعتبر ذات أهمية قليلة، أما عند فقدان عقدة ذات أهمية 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 حد 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، إن عقدة التعويض تكون خارج المنطقة المستهدفة وترسل من خلال طائرة مسيرة إلى نفس موضع

العقدة التي خرجت من الشبكة، حيث تم تحديد مواقع العقد من خلال وحدة GPS المرفقة بالعقدة.

يلخص عمل خوارزمية العقد المنشورة عشوائياً من دون عقدة تجميع البيانات المقترحة بالشكل 2، وتم تبيان خوارزمية عقدة تجميع البيانات في بحث آخر.



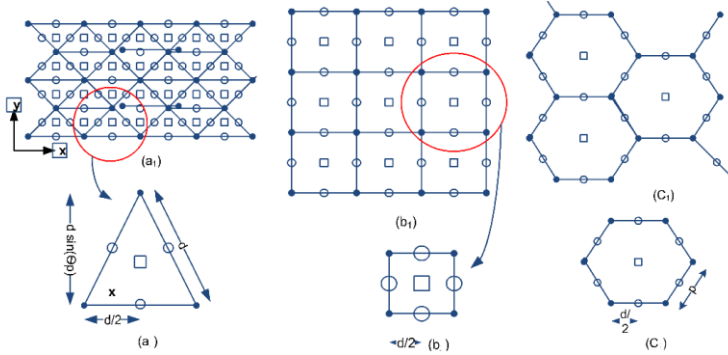
الشكل 2: خوارزمية العقد المنشورة وفق الخوارزمية المقترحة

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 وتتم المقارنة بين النشر العشوائي والتوزيع المحدد من حيث المواضيع وحساب نسبة الإنحراف بين التوزيع المحدد والنشر العشوائي الذي يعطي مؤشر لجودة النشر.

في التقنية القائمة على التوزيع الشبكي [32]، يتم تحديد مواقع عقد الحساسات على أساس نمط الشبكة، مثل الشبكة المربعة والشبكة المثلثية وشكل الشبكة السداسية. لقد استخدم المرجع [33] 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 للأنماط الشبكية.



الشكل 3: توزيع العقد باستخدام النمط المنتظم المثلثي والرابعي والسداسي [33].

إن الخوارزمية المقترحة تقسم العقد إلى قسمين هما "العقد الأولية" و "العقد الاحتياطية أو عقد التعويض"، تستخدم العقد الأولية في أول نشر عشوائي حسب تحديدها من قبل التوزيع المحدد وتُقارن مواضعها بالنسبة للتوزيع المحدد في المنطقة المستهدفة، أما العقد الاحتياطية تستخدم من أجل الترميم في مراحل النشر التالي فوق النشر الأولي، وإن عقد الاحتياطية تكون مع المشغل وخارج المنطقة المستهدفة وليست منشورة مع العقد الأولية.

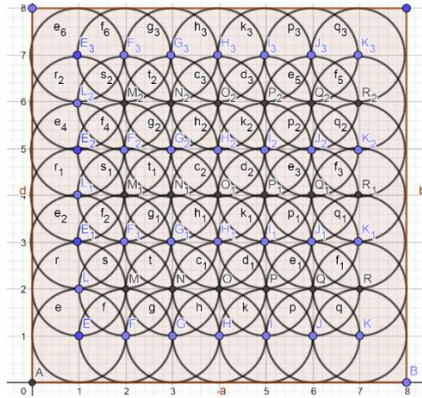
ومن الجدير تذكركه أن عمر الشبكة ينتهي بمجرد خروج أول عقدة عن العمل وهو أحد تعريفات عمر الشبكة الأكثر تشاؤماً [34]، يوجد تعريفات أخرى لعمر الشبكة مثل "عمر الشبكة هو الفترة الزمنية من النشر إلى اللحظة التي تعتبر فيها الشبكة غير عاملة. ومع

ذلك فإن الوقت الذي ينبغي اعتبار الشبكة غير عاملة فيه أمر خاص بالتطبيق" [35].
 تربط أهمية العقدة في الشبكة بعدد الجوار المرتبط و بزمن التفريغ للمدخرات ويعمر
 الشبكة وبعدهد الرسائل التي تمر من خلال هذه العقدة في الخوارزمية المقترحة، 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:

1-متطلبات التطبيق. 2- العدد المتاح للعقد الأعظمي. 3- المسافة عند طاقة بث محددة
 للعقدة.

ندرس المعطيات عند طاقة بث 100% للعقدة ونوجد عدد العقد الأولي للعقد في حالة
 التوزع المحدد المربع، حيث الشكل 4 يبين توزع 49 عقدة عند طاقة بث 50% بشكل
 محدد وفق التوزع الرباعي.



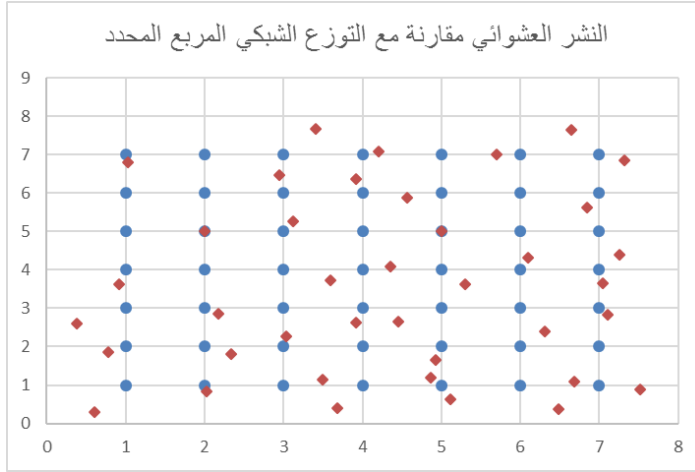
الشكل 4: توزع العقد 49 وفق التوزع الشبكي المربع.

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 المقترحة على تكيف 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.

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 نختار عدد العقد في النشر التالي إن حدد الخوارزمية الحاجة لنشر اضافي.

ننشر عشوائياً 49 عقدة فيتبقى (39 عقدة عشوائية فعالة) في المنطة المستهدفة، ويوجد 10 عقد غير فعالة لأسباب متعددة مبينة الشكل 5.



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

تبدأ كل عقدة عشوائية بفحص جوارها بالنسبة للمنطقة المستهدفة، حيث تقوم كل عقدة بإنشاء جدول خاص بها يحتوي على التغير 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 لا يؤثر على سير

الخوارزمية. يوجد العديد من الطرق لمعرفة احداثيات عقدة لم تستطع تحديد موقعها من عقد الجوار التي حددت موقعها [36] [37].

تنشأ كل عقدة جدول خاص بها من خلال التغيير في سوية طاقة الإرسال ونبين الفكرة من خلال العقدة T بحيث ينتج جدول سويات الطاقة المرتبطة بها في الجدول 1.

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

Node T it1					
إحداثيات الجوار	متوسط أبعاد العقد	أبعاد العقد	العقد المرتبطة	الدرجة	الطاقة بالنسبة لقطر البث PL(T)%
				0	%10
..
				0	%70
(0.78,1.86),(2.02,0.83)	1.54	1.51 , 1.57	S , Z	2	%80
(0.78,1.86),(2.02,0.83)	1.54	1.51 , 1.57	S , Z	2	%90
(0.78,1.86),(2.02,0.83)	1.54	1.51 , 1.57	S , Z	2	%100

إن التغييرات في سوية طاقة الإرسال ممكن أن تكون متدرجة وناعمة وبتطلب ذلك نوع مرسل يتضمن هذه الميزة، ويوجد مراسلات تنتقل بمقدار محدد أو متدرج كنسبة مئوية لسوية طاقة الإرسال، تم الانتقال بمقدار نسبة 10% من طاقة الإرسال وذلك لتخفيف القيم في الجداول وتكفي هذه القيم لعرض وتوضيح الخوارزمية المقترحة فقط ودراستها. لتزويد مصممي النظام بالقدرة على التحكم ديناميكياً في قوة الإرسال توفر أجهزة الراديو المستخدمة مثل CC1000 و CC2420 مسجل لتحديد مستوى طاقة الإرسال أثناء وقت التشغيل [32].

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 تغيرات 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 المقترحة وذلك عندما تصبح 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 رسائل للعقد لتجميع كل البيانات المتوفرة 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 (مثل العقدة V) العقد التي أظهرتها (العقدة A) على تغيير سويتها الطاقية إلى نفس سويتها التي حددتها.

3- بعد حساب الوسط وتطبيق الخوارزمية المقترحة 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 المقترحة 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 المقترحة. 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.

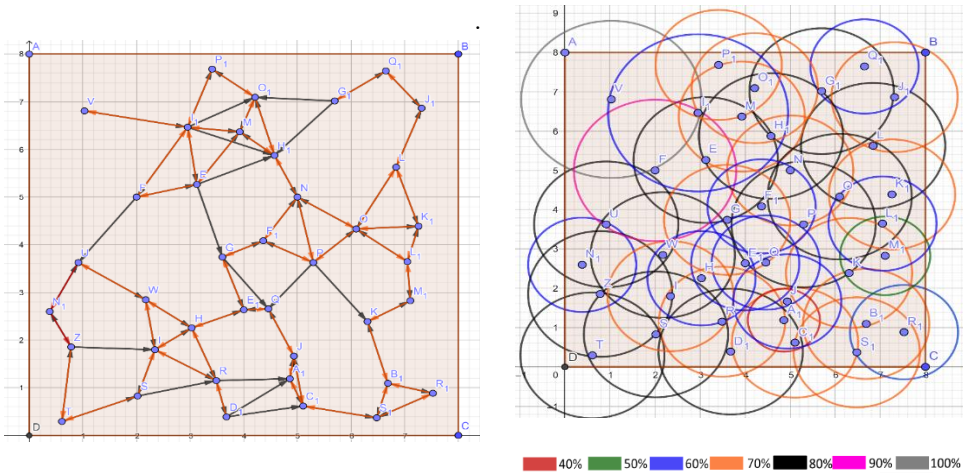
الجدول 2: جدول ظهور الجوار للعقد العشوائية عند سويات الطاقة المختلفة في الدورة الأولى للخوارزمية

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 الخوارزمية
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
4	U	0	0	0	1	1	2	4	4	2	2
5	W	0	0	0	2	2	3	5	7	3	3
6	I	0	0	1	3	4	5	5	7	4.5	4
7	S	0	0	0	1	1	3	6	6	3	3
8	H	0	0	1	4	4	6	7	9	5	4
9	R	0	1	1	2	4	7	9	9	4	4
10	D1	0	1	1	1	1	3	5	7	1	3

تحديد العقدة الأكثر أهمية والأقل أهمية في النشر العشوائي لشبكات الحساسات اللاسلكية

11	V	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
12	II	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
.
38	M1	0	0	2	2	2	3	4	7	2.5	2
39	J	1	1	1	3	4	6	7	10	3.5	3

وبين الشكل 6-أ السوية الطاقية لكل عقدة بعد تحديدها من قبل عقدة تجمع البيانات. بعد تحديد السويات الطاقية للعقدة فإنه من الممكن تحديد الاتصالات بين العقد من خلال مخطط بياني موجه. كما يوضح الشكل 6-ب .



الشكل 6-أ و 6-ب: السويات الطاقية للعقد في النشر الأول بعد تحديدها من قبل البالوعة، مخطط

الاتصالات النهائي للعقد العشوائية في الدورة الأولى للخوارزمية

من خلال النظر للشكل 6-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 المقترحة. نحسب عدد المسارات الكلي وفق المعادلة المستنتجة (5) التالية:

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

حيث:

ATPLRD: الخوارزمية المقترحة حيث تقوم بالنظر للوسط وتتعامل معه كما ذكرنا سابقاً.

Median: تمثل الوسط لظهورات العقدة عند السويات الطاقية.

Node_j: العقدة الذي ينظر بظهوراتها بالنسبة للعقد الأخرى.

n_i: جميع العقد المنشورة عشوائياً في الدورة الحالية للخوارزمية.

عدد المسارات الكلي = 119

عدد المسارات الأحادية = 15 = النسبة 12.605%، عدد 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 الأكثر أهمية والأقل أهمية)

بعد حساب السوية الطاقية لكل عقدة وفق الخوارزمية الموصوفة فإننا نحسب لكل عقدة

مستوى أهميتها والذي نستنتج منه مكان العقدة بالنسبة للشبكة أي على حدود الشبكة أو

تقترب من داخل الشبكة ومقدار الاتصالات التي تمر منها.

نرتب العقد في جدول 5 حسب استطاعة البث تنازلياً لتحديد العقد التي ستخرج أولاً من

الشبكة مع مستوى أهمية العقدة من خلال تقاطع رسم منحني طاقات الإرسال للعقد مع

منحني أهمية العقد.

تحسب أهمية العقدة من خلال تطبيق DEVSQ على ظهورات جوار العقدة عند السويات

الطاقية كافة، أي حساب مجموعة الانحرافات التربيعية عن المتوسط لظهورات العقدة عند

سويات الطاقة حتى عند السويات التي لاتحوي جوار وتكون صفرية وفق المعادلة (6).

حيث:

$$Node_{Importance}(i) = MAX(DEVSQ(neighbour\ of\ Node_x) - DEVSQ(neighbour\ of\ Node_i))$$

$$= MAX(\sum_{MIN(PL\%)}^{MAX(PL\%)} (x - \bar{x})^2) - \sum_{MIN(PL\%)}^{MAX(PL\%)} (x - \bar{x})^2 \dots (6)$$

حيث:

- DEVSQ: مجموع الانحرافات التربيعية عن المتوسط لظهورات جوار العقدة عند سويات الطاقة المدروسة.

- x: ظهور العقدة عند كل سوية طاقة للإرسال.

- \bar{x} : متوسط ظهور العقدة عند كل السويات الطاقية للإرسال.

من خلال المعادلة (6) يتم حساب أهمية كل عقدة، بعد ذلك نقوم بترتيب هذه القيم

تصاعدياً وترتيب العقد العشوائية حسب الأهمية وحسب استطاعة البث التي ستعمل عليها

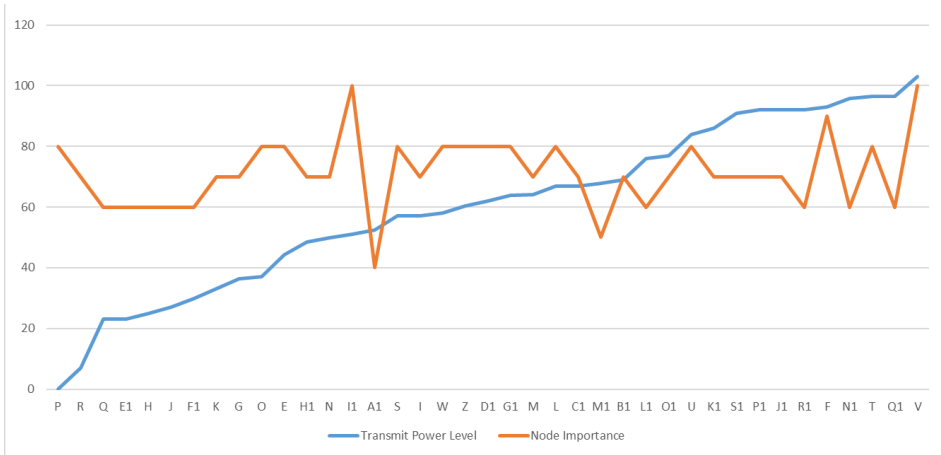
العقد العشوائية وفق الجدول 3. **تزداد الأهمية للعقدة كلما انخفض قيمة معامل الأهمية.**

الجدول 3: سوية الطاقة لكل عقدة التي حددت في عقدة Sink مع حساب أهمية كل عقدة بعد النشر الأول (39 عقدة فعالة في المنطقة المستهدفة).

رقم العقدة	اسم العقدة	معامل الأهمية: أهمية العقدة (من الأكثر أهمية إلى الأقل) تمثل قيمة (max(devsq)-devsq) لظهورات جوار العقدة عند كل السويات الطاقية	سوية الطاقة التي تعمل عندها العقدة
14	P	0	80
9	R	7	70
19	Q	23	60
30	E1	23	60
8	H	25	60
39	J	27	60
35	F1	29.875	60
33	K	33	70
23	G	36.375	70
21	O	37	80
29	E	44.375	80
17	H1	48.375	70
36	N	49.875	70
12	I1	51	100

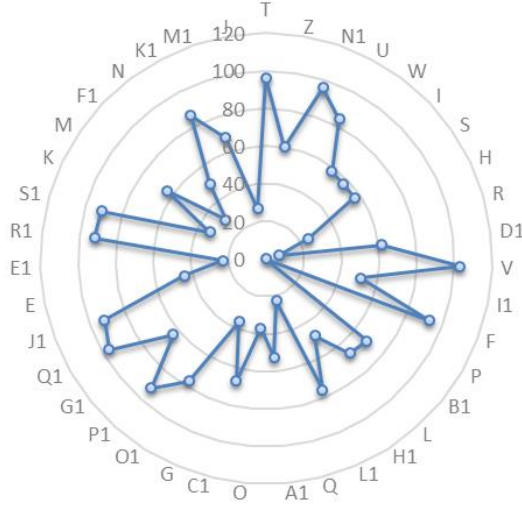
20	A1	52.375	40
7	S	57	80
6	I	57	70
5	W	58	80
2	Z	60.375	80
10	D1	62	80
26	G1	63.875	80
34	M	64	70
16	L	67	80
22	C1	67	70
38	M1	67.875	50
15	B1	69	70
18	L1	75.875	60
24	O1	77	70
4	U	83.875	80
37	K1	86	70
32	S1	91	70
25	P1	92	70
28	J1	92	70
31	R1	92	60
13	F	93	90
3	N1	95.875	60
1	T	96.375	80
27	Q1	96.375	60
11	V	103	100

نرسم منحني السويات الطاقية مع منحني الأهمية لتحديد العقد الحرجة (أول نقطة تقاطع بين المنحنيين) في النشر العشوائي والمبينة بالشكل 7.



الشكل 7: مخطط بياني بين أهمية العقد وسوية الطاقة التي تعمل عليها في النشر الأول

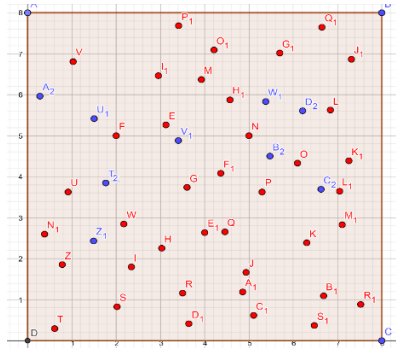
يتبين من الشكل 7 أن العقد التي يتقارب فيها المنحنين فإنها تمثل عقد لا تؤثر على الشبكة، وكلما زادت المسافة فإن العقدة تكون أكثر أهمية لعمل الشبكة وخروجها يؤثر على عمر الشبكة، أما العقد التي يتقارب فيها المنحنين هي عقد لا يؤثر خروجها على عمل الشبكة ككل. بالنظر للشكل 7 الذي يبين العقد الأقل أهمية وهي العقد التي لا يؤثر خروجها على عمل الشبكة مثلاً V و F و U، راجع الشكل 6-أ و 6-ب من أجل عملية التحقق والمطابقة. من خلال البحث والتجريب تم فرض أن كل العقد قبل نقطة التقاطع الأولى بين المنحنين تحدد العقد الأكثر أهمية أو العقد الحرجة للشبكة في التوزع العشوائي أي عند العقدة A1، حيث أن العقد الناتجة من P إلى A1 تعتبر العقد الحرجة وهي العقد الأكثر أهمية، ويبرهن على ذلك من خلال النظر في الشكل 11-ب، من خلال دراسة العقد الحرجة أو الأكثر أهمية فإن العقد التي تكون قيمة معامل الأهمية لها صغير وسوية الطاقة لها عالية فإن تأثير خروجها يعتبر الأكثر ضرراً على عمل الشبكة، مثل العقدة P حيث طاقة الإرسال لها 80% وهي ذات معامل أهمية أصغر ما يمكن، وإذا قورنت بالعقدة I والتي تعمل عند طاقة 100% فإن العقدة P تكون الأخطر كونها تقترب من مركز الشبكة أكثر وأهميتها أعلى من أهمية العقدة I. وكذلك كلما كانت العقدة أكثر مركزية ومن العقد الحرجة فإنه يعتبر خروجها عن العمل الأخطر على الشبكة. يبين الشكل 8 العقد وتوضعها بالنسبة لمركز الشبكة المنشورة في الدورة الأولى للخوارزمية. إن العقدة P هي العقدة الأكثر أهمية في الدورة الأولى ولكن العقدة F1 هي الأقرب لمركز الشبكة للنشر العشوائي التي تحسب من centroid، وإن العقدة P كما يبين الشكل 7 هي من العقد الحرجة.



الشكل 8: العقدة الأكثر الأهمية والعقد الحدودية في المنطقة المستهدفة خلال النشر الأول للعقد

في الحقيقة إن الخوارزمية عند حكمها على جودة النشر وتفحص النشر يتبين أننا بحاجة لنشر جديد فوق النشر الأولي للمسألة المدروسة، لاننتظر في هذا البحث لشرح الآلية المتبعة من قبل الباحث في الخوارزمية لكيفية إجراء عمليات النشر، إنما فقط نبين العقد الأكثر أهمية والأقل أهمية في دورات النشر العشوائي التالية.

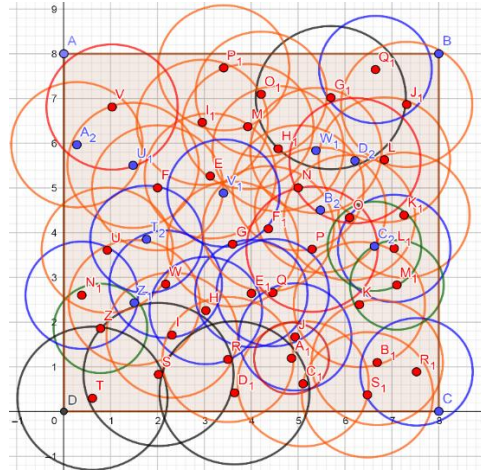
نتنقل إلى المرحلة الثانية في الخوارزمية وحيث وجب النشر فوق النشر الأولي لتحسين النشر الأولي، بحيث ننشر 9 عقد جديدة (توجد إجرائية خاصة في الخوارزمية لتحديد عدد العقد) في حال اعتمد التوزيع المحدد الرباعي كما يتوضح في الشكل 9.



الشكل 9: العقد العشوائية المنشورة في التكرار الثاني للخوارزمية في حال اعتمد التوزيع المحدد الرباعي

تحدد الخوارزمية السويات الطاقية لكل عقدة في المرحلة الثانية للخوارزمية بحيث تؤمن اتصال بين عقد الشبكة بشكل كافي لتبادل الرسائل، ويبين الشكل 10 السويات الطاقية لكل عقدة بعد تحديدها من قبل عقدة تجميع البيانات في التكرار الثاني. عدد المسارات الكلي = 167 .

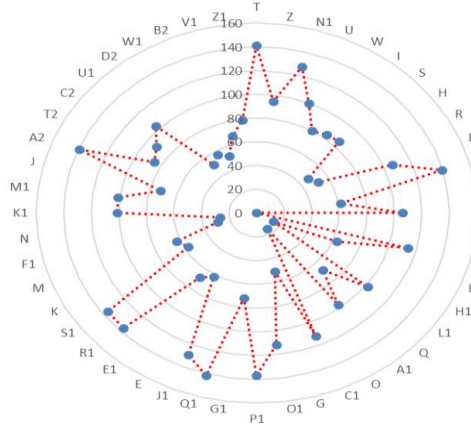
عدد المسارات الأحادية = 17 = النسبة 10.179%، عدد الثنائية = 75 = النسبة 89.820%



الشكل 10: السويات الطاقية للعقد في المرحلة الثانية للخوارزمية بعد تحديدها من قبل البالوعة عند

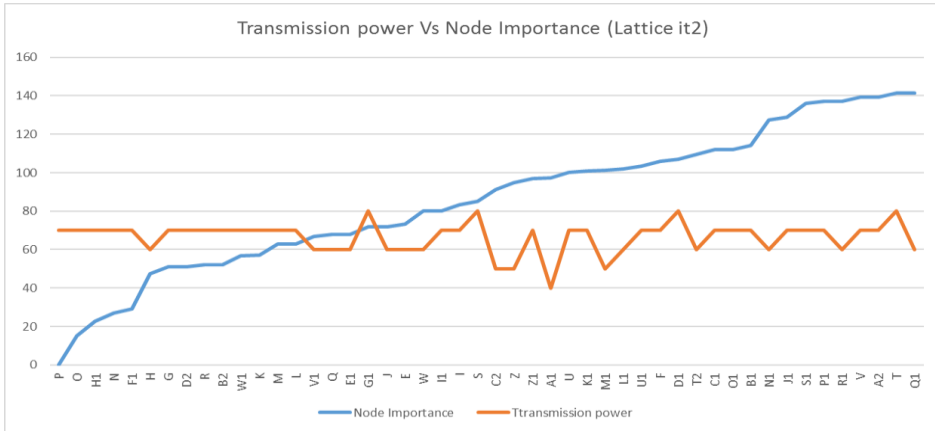
اعتماد التوزيع الرباعي

من خلال دراسة قيمة الانحراف للقيم الناتجة عن تغيرات جوار العقد حسب السوية الطاقية يتبين الشكل 11 الذي يوضح أهمية العقد في المنطقة المستهدفة بناء على تغيرات الجوار في الدورة الثانية. نسعى في الخوارزمية المقترحة للوصول إلى تطابق العقدة الأكثر أهمية مع العقدة المركزية في الشبكة وهذا شرط لتوقف الخوارزمية والانتهاء من عمليات النشر.



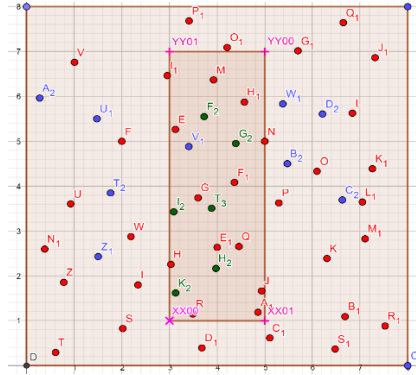
الشكل 11: توضيح العقدة الأكثر أهمية والعقد الحدودية في المنطقة المستهدفة في النشر الثاني عند اعتماد التوزيع المنتظم الرباعي.

بعد دراسة العقد في الدورة الثانية فإن منحنى السويات الطاقية ومنحنى أهمية العقدة يبين في الشكل 12 التالي، حيث يتوضح انخفاض عدد العقد الحرجة حيث كان 16 عقدة في الدورة الأولى للنشر أما في الدورة الثانية يصبح عدد العقد الحرجة 14 عقدة.



الشكل 12: مخطط بياني بين أهمية العقدة وسوية الطاقة التي تعمل عليها في النشر الثاني

ننتقل إلى المرحلة الثالثة في الخوارزمية وحيث وجب النشر وفق الخوارزمية لتحسين النشر الثاني، بحيث ننشر 6 عقد جديدة (توجد إجرائية خاصة في الخوارزمية لتحديد عدد العقد) في حال اعتمد التوزيع المحدد الرباعي كما يتوضح في الشكل 13.

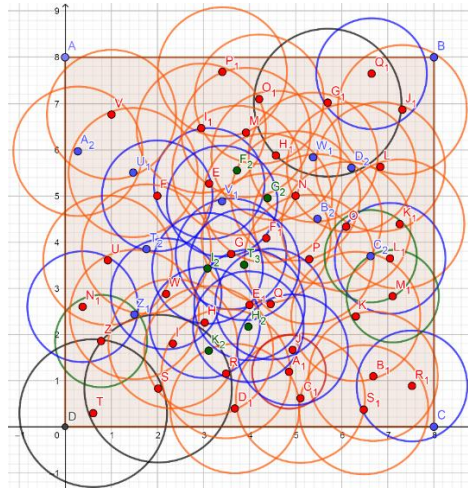


الشكل 13: نشر 6 عقد جديدة في المرحلة الثالثة من النشر العشوائي

تحدد الخوارزمية السويات الطاقية لكل عقدة في المرحلة الثالثة للخوارزمية بحيث تؤمن اتصال بين عقد الشبكة بشكل كافي لتبادل الرسائل، ويبين الشكل 14 السويات الطاقية لكل عقدة بعد تحديدها من قبل عقدة تجميع البيانات في التكرار الثالث.

عدد المسارات الكلي = 231

عدد المسارات الأحادية = 15 = النسبة 6.493%، عدد الثنائية = 108 = النسبة 93.506%

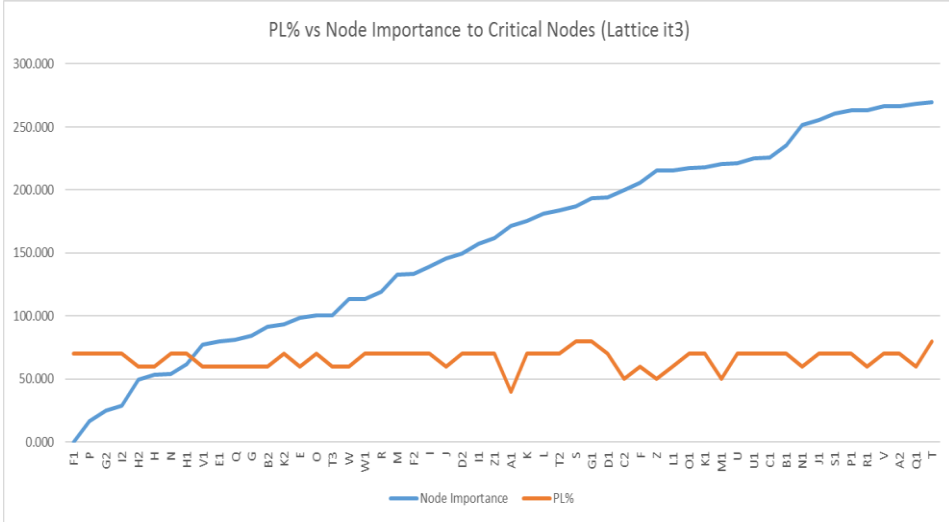


40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%

الشكل 14: السويات الطاقية للعقد في المرحلة الثالثة بعد تحديدها من قبل البالوعة

لتحديد العقد الحرجة التي يؤثر خروجها على عمل الشبكة ككل والتي لها الدور الأكبر بإنهيار الشبكة فإننا نعلم على تقاطع منحي السويات الطاقية للعقد مع منحنى أهمية

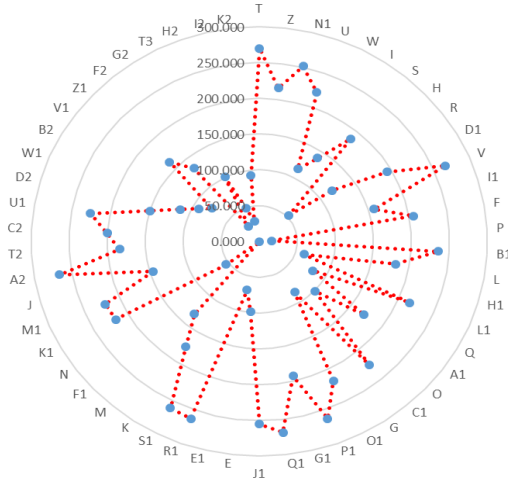
العقدة بحيث جميع العقد التي تقع تحت منحنى السويات الطاقة تكون عقد حرجة وخروجها يؤثر على عمل الشبكة ككل. كما يوضح الشكل 15.



الشكل 15: تقاطع منحنى السويات الطاقة مع منحنى أهمية العقدة وتحديد العقد الحرجة وفق التوزيع المحدد الرباعي

نلاحظ في التكرار الثالث للخوارزمية فإن عدد العقد الحرجة تم تقليله نتيجة النشر الإضافي، بحيث أصبح عدد العقد الحرجة 8. نتيجة لعمليات نشر إضافية فوق المنشورات السابقة فإن الإرتباطات بين العقد تتغير وذلك يؤدي إلى تغيير العقدة الأكثر أهمية والتي تصبح العقدة F1 في الدورة الثالثة، هذا يؤدي إلى إنتهاء الخوارزمية في الدورة الثالثة لأن العقدة F1 أصبحت العقدة الأكثر أهمية، وكذلك فإنها تطابق العقدة المركزية للنشر العشوائي كما يوضح الشكل 16 (حيث وضع معيارين لإنهاء الخوارزمية: إما أن تصبح العقدة الأكثر أهمية هي العقدة الأقرب للمركزية وهي طريقة مستنتجة من خلال دراسة المسألة بشكل تجريبي، أو إنتهاء عدد العقد الكلي الممكن تعويضه)، إن العقدة الأقرب للإحداثي المركزي للنشر العشوائي في الدورات الثلاث هي F1، حيث يحسب الإحداثي المركزي من خلال حساب Centroid لإحداثيات العقد العشوائية المنشورة، من ثم تحسب

مسافة كل عقدة إلى الإحداثي المركزي، والمسافة الأصغر تعطي العقدة الأقرب للمركزية وهي F1. الدورة الأولى والثانية لم يحدث تطابق لأن العقدة الأكثر أهمية كانت P أما الدورة الثالثة فاصبحت F1.



الشكل 16: توضيح العقدة الأكثر أهمية وتطابقها مع العقد الأقرب للمركزية والعقد الحدودية في المنطقة المستهدفة في النشر الثالث عند اعتماد التوزيع المنتظم الرباعي.

من أجل إطالة عمر الشبكة نسعى إلى تعويض العقد الحرجة من أجل عمل الشبكة لأكثر فترة ممكنة، حيث تمثل فعلياً هذه العقد الحرجة العقد التي يمر فيها أكبر عدد من الاتصالات ضمن الشبكة وعليه فإنها تستنزف طاقة المدخرات أسرع من غيرها، أي العقدة ذات السوية الطاقية 70% والتي قيمة الأهمية لها منخفضة فإن نضوب مدخراتها يكون أسرع من العقدة ذات السوية الطاقية 70% والتي قيمة الأهمية لها عالية. وهذه العقد مبينة بالجدول 4.

الجدول 4: العقد الحرجة بالنسبة للنشر العشوائي عند اعتماد التوزيع المربع كأساس مقارنة

رقم العقدة	اسم العقدة	سوية الطاقة التي تعمل عندها العقدة	أهمية العقدة (من الأكثر أهمية إلى الأقل) تمثل قيمة $(\max(\text{devsq}) - \text{devsq})$ لظهورات العقدة عند كل السويات الطاقية
35	F1	70	0.000
14	P	70	16.667

50	G2	70	25.333
53	I2	70	28.667
52	H2	60	49.333
8	H	60	53.556
36	N	70	54.000
17	H1	70	61.556

من خلال العودة للمسألة المقترحة، فإن زمن تشغيل العقدة عند طاقة 100% يكافئ زمن تشغيل 960 ساعة فيما لو عملت العقدة بشكل متواصل ضمن دورة العمل العقدة [38] و [39]. ولكن ليس من الضرورة أن تعمل العقدة بشكل مستمر حيث من الممكن أن لا تبادل الرسائل عن طريقها أو من الممكن أن تعمل ضمن فترات زمنية وذلك حسب متطلبات التطبيق. بالحقيقة يراقب نضوب المدخرات الخاصة بالعقدة خلال دورة العمل ولا يمكن أخذ فقط السوية الطاقية التي تعمل عليها العقدة كمعيار لحساب زمن تفريغ المدخرة.

إن الزمن الذي ستعمل عليه العقدة عند طاقة 70% هو 1371.4 ساعة والذي حدد من خلال أعظم طاقة للعقد الحرجة. إن هذا الزمن هو الحد الأدنى الذي ستعمل به العقدة وحيث من الممكن أن تزداد حسب التطبيق وحسب دورات العمل والنوم للعقدة. إن الزمن المطلوب تحقيقه في المسألة المقترحة هو 1680 ساعة. والزمن التشغيلي عند أسوأ حالة هو 1371.4 ساعة وهو يحقق 81.63% من زمن التشغيل الكلي حيث يعتبر زمن مقبول بحيث أننا لم نحصر الشبكة المنشورة عشوائياً وكذلك بقيت ضمن حدود الكلفة وضمن الحد المسموح به، وهذا الزمن يعتبر الزمن الأسوأ لعمل الشبكة.

إن تعويض العقد الحرجة لا يتم من خلال النشر العشوائي وإنما يتم من خلال إرسال عقدة محددة إلى مكان العقدة نفسها التي ستتضب طاقة مدخرتها ويتم ذلك من خلال عقدة التعويض التي تكون محملة على طائرات من دون طيار والتي تنطلق لإسقاط عقدة أو أنها تهبط وتكون كلها عبارة عن عقدة، حيث تترك الدراسة على عقدة التعويض وآلية عملها لأبحاث لاحقة والتي تعمل على إكمال هذه الفكرة. يوجد العديد من الدراسات التي

عملت على عقد الشبكات الحساسات اللاسلكية واستخدام الطائرات من دون طيار من أجل إصلاح الشبكة [30,46] Network Repair.

8-دراسة نتائج البحث

إن الخوارزمية المقترحة في الجزء المتعلق بأهمية العقدة استطاعت تحديد العقد الأكثر أهمية في النشر العشوائي كذلك العقد الأقل أهمية ومن خلال ربط أهمية العقدة مع سوية الطاقة للعقدة تم تحديد العقد الحرجة للنشر العشوائي، عملت الخوارزمية المقترحة على تقليل عدد العقد الحرجة التي تؤثر على عمل الشبكة وأعطت تحديد لهذه العقد التي من المهم مراقبتها والتعويض عنها لمنع الشبكة من الإنهيار. تم تحديد العتبة (عتبة العقد الحرجة: نقطة التقاطع الأولى بين منحي السويات الطاقة للعقد وبين منحي أهمية العقد) التي تحدد العقد الحرجة. واستطاعت الخوارزمية فرز العقد من حيث أهميتها والذي يساعد على تحديد مفهوم جديد لتعريف إنتهاء عمر الشبكة. إن الطريقة المتبعة في الخوارزمية هي طريقة جديدة ويمكن تطبيقها عملياً ودمجها مع تقنيات أخرى لتجنب خسارة وانهيار الشبكة المنشورة عشوائياً.

9-خلاصة الدراسة البحثية

مما سبق تبين أن هذا البحث قد أعطى النتيجة التالية:

- 1- استطاعت خوارزمية سوية الطاقة المتكيفة مع النشر العشوائي من خلال إجراءات حسابية إحصائية بسيطة في تحديد أهمية العقدة.
- 2- ساعدت الخوارزمية على إطالة عمر الشبكة من خلال تحديد العقد الحرجة والتي يمكن أن يُعوض عنها لإستمرار عمل الشبكة لأطول فترة ممكنة.
- 3- يمكن توظيف مفهوم أهمية العقدة في إنشاء تعريف جديد لزمان إنتهاء عمر الشبكة.
- 4- يمكن توظيف أهمية العقدة لتحديد العقد الحدودية بالنسبة للنشر كذلك العقد الأكثر
- 5- يمكن إسقاط مفهوم أهمية العقدة 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] 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.
- [3] CupCarbon **Manual Book**.
- [4] 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.
- [5] Yick, J., Mukherjee, B., & Ghosal, D. (2008). Wireless sensor network survey. Computer Networks, 52(12), 2292–2330.
- [6] Al-Karaki, J. N., & Gawanmeh, A. (2017). The Optimal Deployment, Coverage, and Connectivity Problems in Wireless Sensor Networks: Revisited. IEEE Access, 5, 18051–18065.
- [7] Liu, L., Xia, F., Wang, Z., Chen, J., & Sun, Y. (2005). Deployment Issues in Wireless Sensor Networks. Lecture Notes in Computer Science, 239–248.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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)**. Published.
- [14] 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.
- [15] Chincoli, M., & Liotta, A. (2018). Self-Learning Power Control in Wireless Sensor Networks. **Sensors**, 18(2), 375.
- [16] 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.
- [17] 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).
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.

[21] 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.

[22] 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**. Published.

[23] 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. Published.

[24] 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.

[25] 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.

[26] Ahmed, G., & Khan, N. M. (2016). Adaptive Power-Control Based Energy-Efficient Routing in Wireless Sensor Networks. **Wireless Personal Communications**, 94(3), 1297–1329.

[27] 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**, 295–303.

[28] 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.

- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] 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**, 333–343.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] 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.
- [35] Yunxia Chen, & Qing Zhao. (2005). On the lifetime of wireless sensor networks. **IEEE Communications Letters**, 9(11), 976–978.
- [36] 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.
- [37] Saad, E., Elhosseini, M., & Haikal, A. Y. (2018). Recent achievements in sensor localization algorithms. **Alexandria Engineering Journal**, 57(4), 4219–4228.
- [38] Del-Valle-Soto, C., Mex-Perera, C., Nolzco-Flores, J. A., Velázquez, R., & Rossa-Sierra, A. (2020). Wireless Sensor Network

Energy Model and Its Use in the Optimization of Routing Protocols. **Energies**, 13(3), 728.

[39] Bouguera, T., Diouris, J. F., Chaillout, J. J., Jaouadi, R., & Andrieux, G. (2018). Energy Consumption Model for Sensor Nodes Based on LoRa and LoRaWAN. **Sensors**, 18(7), 2104.

