

## Adaptive transmission power level algorithm according to random deployment of nodes in WSN

Bassim Ali Oumran

Muhammad Abdullah Rastanawi

Faculty of Mechanical and Electrical Engineering || Al Baath University || Syria

**Abstract:** Wireless sensor nodes are generally deployed randomly in hostile, harsh and inaccessible environments. For this reason, the sensor nodes are supposed to operate over long periods of time without human intervention in order to extend the life of the network as much as possible, and also, it is not possible to restore the nodes or change their positions after their deployment, but by changing the transmitting power level and redeploying a new nodes above the deployment Previously, the network performance improves and we guarantee that the deployed nodes are not lost, and we also guarantee the operation of the network as a whole.

The researcher has developed an algorithm "Adaptive transmission power level according to random deployment (ATPLRD)", where the presented algorithm includes determining the power levels relative to random deployment and identifying possible paths in the network in order to reach high interconnection between nodes to achieve the least number of published nodes at the lowest energy levels for the nodes, and also determines the most important nodes in the network whose exit or failure leads to the collapse of the network, and determining The boundary nodes of the network, as well as the weakest coverage areas, which represent gaps in the network, and from it determines the number of nodes needed to deploy within these gaps as few as possible.

The results of the study showed that the imposed algorithm is effective in all of the above, and we focus in this research on adaptively determining the transmission energy levels of the nodes and reducing the number of deployed nodes that make the network work effectively and improving the quality of deployment by deploying additional nodes within the Reigon of Interest. The results showed achieving the least number of deployed nodes at the lowest transmission power level and achieving high interconnection between nodes. An overall energy consumption improvement of 31.25% was achieved.

**Keywords:** WSN – TPC – ATPC - Random deployment.

## خوارزمية سوية طاقة الإرسال المتكيفة حسب النشر العشوائي للعقد في شبكات الحساسات اللاسلكية

بسيم علي عمران

محمد عبد الله رستاوي

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية || جامعة البعث || سوريا

المستخلص: يتم نشر عقد المستشعرات اللاسلكية عشوائياً بشكل عام في البيئات المعادية والقاسية التي يتعذر الوصول إليها. لهذا السبب من المفترض أن تعمل عقد الحساسات على مدى فترات زمنية طويلة دون تدخل بشري من أجل إطالة عمر الشبكة ما أمكن،

وكذلك فإنه لا يمكن استعادة العقد أو تغيير مواضعها بعد نشرها، ولكن من خلال التغيير في سوية طاقة الإرسال وإعادة نشر عقد جديد فوق النشر السابق فإن أداء الشبكة يتحسن ونضمن منه عدم خسارة العقد المنشورة، وكذلك فإننا نضمن عمل الشبكة ككل. قام الباحث بتطوير خوارزمية "سوية طاقة الإرسال المتكيفة حسب النشر العشوائي للعقد"، حيث تتضمن الخوارزمية المقدمة تحديد السويات الطاقية نسبة للنشر العشوائي وتحديد المسارات المحتملة في الشبكة وذلك للوصول لترابط عالي بين العقد لتحقيق أقل عدد من العقد المنشورة عند أدنى سويات للطاقة للعقد، وأيضاً تحدد العقد الأكثر أهمية في الشبكة التي خروجها أو تعطيلها يؤدي إلى انهيار الشبكة، وتعمل الخوارزمية على تحديد عقد الحدود للشبكة، كذلك تحدد المناطق الأضعف تغطية والتي تمثل فجوات في الشبكة ومنه تحدد العدد اللازم للعقد لنشر ضمن هذه الفجوات بأقل عدد ممكن. بينت نتائج الدراسة أن الخوارزمية المفروضة فعالة في كل ما سبق ذكره، ونركز في هذا البحث على تحديد السويات الطاقية للإرسال للعقد بشكل تكييفي وتقليل عدد العقد المنشورة التي تؤمن عمل الشبكة بشكل فعال وتحسين جودة النشر من خلال نشر عقد إضافية ضمن منطقة الاهتمام. حيث بينت النتائج تحقيق أقل عدد من العقد المنشورة عند أدنى مستوى لطاقة الإرسال وتحقيق ترابط عالي بين العقد. بلغت نسبة التحسين في إجمالي استهلاك الطاقة بمقدار 31.25%.

الكلمات المفتاحية: شبكات الحساسات اللاسلكية- التحكم في طاقة الإرسال- التحكم في طاقة الإرسال بشكل تكييفي- النشر العشوائي.

## 1- مُقَدِّمَةٌ.

بفرض لدينا مساحة عمل أو منطقة مستهدفة Target Area (تسمى أيضاً في بعض المراجع Rol: Region of Interest أو Fol: Field of Interest) يراد نشر مجموعة من الحساسات عليها، لتكن محددة الأبعاد ذات مساحة D وهي عبارة عن مربع ثنائي البعد، وبحيث تعتبر بيئة صعبة الوصول من قبل الإنسان لذا لا نستطيع الاعتماد على التوزيع المحدد للحساسات أو على توزيع الحساسات وفق مخطط مسبق، وبسبب كون البيئة خطيرة، فإن خيار النشر العشوائي للعقد ضمن بيئة العمل هو الخيار المتاح.

تجمع عقد الحساسات المعلومات وتعيد توجيهها نحو عقدة البالوعة Sink عبر الاتصال اللاسلكي. عادة تكون العقد محدودة الموارد من حيث الطاقة والقدرة الحسابية وسعة التخزين ونطاق الاتصال. إن عقد WSN: Wireless Sensor Network تعمل بالبطارية وقد لا يكون استبدال البطارية ممكناً بسبب التضاريس القاسية والظروف البيئية القاسية<sup>[18]</sup>، لكن عقدة Sink بعكس ذلك غالباً.

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

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<sup>[39]</sup>.

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، لتقييد منطقة مصابة في المجال الطبي، تحديد منطقة حريق، إلخ.<sup>[9]</sup>

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. في حالة شبكات الاستشعار اللاسلكية

WSN، فإن الهيكل العام للرسم البياني غير معروف، لأنه غالباً ما يتم نشر العقد بشكل عشوائي. أحد المشاكل الهامة في هذا المجال هي البحث عن العقد الحدودية<sup>[10]</sup>.

في النشر العشوائي، يكون تجنب الثقوب (منطقة لا توجد بها نقطة داخل نطاق الاستشعار من العقد) أمراً صعباً للغاية<sup>[38]</sup>. لذا يجب تطوير تقنيات لكشف العقد الحدودية للشبكة ككل أو للعقد على حدود الفجوات داخل الشبكة. قد يؤدي التلف المادي و/أو استنفاد طاقة العقدة إلى فتحات تغطية في شبكات WSN<sup>[41]</sup>.

#### مُشكلة البحث:

تنتج المشكلة الأساسية كون البيئة التي نشرت فيها العقد غير قابلة للاسترجاع وغير قابلة لتغيير موضعها لتحسين التوضع وتأمين الاتصال، لذا يجب البحث عن آلية لعمل هذه الشبكة وعدم خسارة العقد المنشورة. وإطالة عمر الشبكة ككل لأطول فترة ممكنة.

#### 2- الهدف من البحث

يهدف البحث الى دراسة عمل الشبكة وفق النشر العشوائي بأقل سوية طاقة للإرسال، وبحيث تتكيف طاقة الإرسال مع التغيرات التي تطرأ على الشبكة، وتأمين الاتصال في النشر العشوائي من خلال التغيير في طاقة الإرسال، وتعتمد على تحسين النشر من خلال تطبيق نشر إضافي فوق النشر الأولي. حيث من أهم العوامل التي تهتم شبكات الحساسات اللاسلكية هي الطاقة والتي تتأثر بعدة عوامل أهمها طاقة الإرسال. وفي النتيجة الوصول للموازنة بين عدد العقد المنشورة وبين الكلفة الكلية للشبكة وبين سوية الطاقة للعقد.

#### 3- أهمية البحث

تتمثل أهمية البحث في المحافظة على العقد المنشورة بشكل عشوائي من خسارتها، وتأمين عمل الشبكة لأطول فترة ممكنة. وإطالة عمر الشبكة من خلال تقليل متوسط استهلاك الطاقة للعقد.

#### 4- مواد البحث وطرائقه

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 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<sup>[17]</sup>. وتتمثل بقية الفقرات في توضيح النشر العشوائي، وتقديم دراسات مرجعية، ومن ثم توصيف للخوارزمية ومناقشة النتائج.

#### 5-النشر العشوائي والمحدد لشبكات الحساسات اللاسلكية

في النشر العشوائي، تنتشر الحساسات فوق منطقة المراقبة لاستشعار منطقة الاهتمام المستهدفة. يكون النشر العشوائي ممكناً عندما لا يكون التدخل البشري ممكناً بسهولة وعندما تكون المعلومات حول المنطقة غير معروفة سابقاً مثل حرائق الغابات، ومناطق الكوارث، وتلوث الهواء<sup>[4]</sup>، وساحات القتال... الخ. عندما تتم تغطية المنطقة المستهدفة بالمستشعرات بشكل مكثف، تصبح مشكلات مثل إدارة الاتصال واكتشاف الأعطال أكثر تعقيداً<sup>[50]</sup>. يتم تحقيق الاتصال الكامل Full Connectivity إذا كان كل زوج من عقد الحساسات يتواصل ويتبادل معلوماته

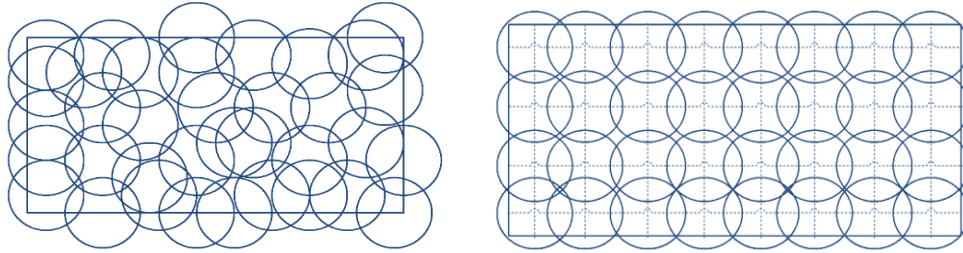
بشكل ثنائي الاتجاه. يتم تحقيق هذا الشرط في WSN لنقل البيانات بشكل موثوق من خلال العقد مباشرة أو بواسطة العقد الأخرى<sup>[5]</sup>.

يتم التعامل مع النشر المحدد للحساسات في البيئة الآمنة أو الودية Friendly Environments<sup>[7]</sup>. يمكن نشر عقد أجهزة الحساسات المحددة في حالة منطقة استشعار محدودة وأمنة. يتم تخفيض التكلفة بشكل كبير لأن نشر العقد يتم يدوياً ويستخدم عدد أقل من عقد الاستشعار<sup>[26][31][49]</sup>.

إن هدف الخوارزمية المفروضة هو العمل على تأمين الاتصال الكامل ما أمكن بين العقد بعد النشر العشوائي، ويتم ذلك من خلال التغيير في سويات الطاقة للحساسات وهو ما يركز على مفاهيم Transmasion Power Control وتطبيق منهجية جديدة بإعادة 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.

يتم نشر العقد في منطقة معينة بطريقتين هما: النشر المحدد Deterministic Deployment والنشر العشوائي Random Deployment<sup>[31]</sup>.

إن أداء الشبكة WSN مع عقد الحساسات المنتشرة عشوائياً سيكون أقل من أداء عقد الحساسات الموزعة بشكل محدد<sup>[44]</sup>. 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 والنشر 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 قدرة الإرسال إلى أدنى حد ممكن بالحفاظ على جودة الاتصال<sup>[22][23]</sup>. درس المرجع<sup>[24]</sup> التحكم بطاقة الإرسال وتأثيره على معدل نقل البيانات وهو عامل رئيسي يؤثر على استهلاك الطاقة، أظهرت النتائج التجريبية أن استهلاك الطاقة للعقدة باستخدام الخوارزمية انخفض بنسبة 38.46-54.44% مقارنة بمجموعة التحكم، وفي حالة استخدام بطارية AAA بسعة 1200 ملي أمبير ساعي يمكن أن تعمل العقدة 4.2 سنوات تقريباً باستخدام خوارزمية التحكم الهجين المقترحة. اقترح المرجع<sup>[47]</sup> 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، تكشف النتائج التجريبية أن الرقاقة المطورة المدروسة تجمع بيانات ECG في الزمن الحقيقي بكفاءة، وأن خوارزمية ETPC المقترحة تحقق توفيراً أعلى للطاقة بنسبة 35.5% مع نسبة خسارة رزمة أكبر قليلاً PLR مقارنة ب TPC التقليدية. كذلك قدم المرجع<sup>[25]</sup> التحكم في طاقة الإرسال متعدد القنوات التكيفي للأجهزة الصناعية اللاسلكية، يتضح أن الخوارزمية المقترحة تتكيف مع الاختلافات

في جودة الارتباط، وهي مستقلة عن الأجهزة وعملية. بينما ركز المرجع [52] بشكل أساسي على خوارزمية تخصيص القنوات المشتركة والتحكم في الطاقة، ثبت أن القيمة المثلى العشوائية لتخصيص القنوات المشتركة تقارب بشكل شبه مؤكد القيمة المثلى. وتم ذلك من خلال مثال رقمي يوضح كفاءة الطريقة المقترحة. بينما ركز المرجع [23] على تخصيص الموارد لتخصيص الفجوة الزمنية المشتركة وتخصيص القنوات والتحكم في الطاقة لشبكات استشعار لاسلكية متعددة القنوات MRMC WSN، والذي اعتمد على خوارزمية PSO متعددة الأهداف وحسنها للوصول للحل الأمثل، تظهر نتائج المحاكاة أن الخوارزمية المقترحة تؤدي أداءً أفضل بشكل ملحوظ من حيث تحقيق التوازن بين اثنين من العناصر المرغوبة (كفاءة الطاقة وسعة الشبكة) متعددة الأداء. قام المرجع [22] 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، تم إجراء تحليل الحساسية للكشف عن التداخل الناتج ومعدل كفاءة GATPC كتابع بنسبة مئوية للتغطية المستهدفة المتغيرة بالإضافة إلى عدد العوائق الموجودة واتجاه توزيعها، تم إثبات جودة الحل الخاص بـ GATPC من حيث إجراء تغطية تكيفية فعالة وتقليل التداخل حتى في حالة وجود عوائق معدنية، تم قياس أداء التسريع الخاص بـ GATPC بحيث يصل إلى 37 مرة مقارنة بـ serial GATPC، تم توضيح فعالية GATPC وقابليتها للتوسع بشكل أكبر من خلال المقارنة مع خوارزميات أخرى. قدم المرجع [46] 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. عرض الباحث في المرجع [13] نظام التحكم في الطاقة ذاتي التعلم لشبكة WSN. وناقش المرجع [8] تقنية إدارة الطاقة الديناميكية لتعزيز كفاءة الطاقة، تظهر نتائج المحاكاة أن النظام يتقارب إلى حالة التوازن حيث ترسل كل عقدة بأدنى قدرة إرسال مع مراعاة قيود نسبة استقبال الرزم العالية، وبالتالي يستفيد النظام من انخفاض استهلاك الطاقة وتأخير الحزم. درس المرجع [35] استراتيجية التحكم في قدرة الإرسال لشبكات الاستشعار اللاسلكية تحت الماء، بينت الفكرة المقترحة أنها أفضل في الانتاجية وعمر الشبكة والطاقة المتبقية. أخذ البيئة المعقدة تحت الماء والمخاوف الاقتصادية في الاعتبار.. قام المرجع [34] بتقديم تقنية جديدة للتحكم في طاقة الإرسال مع مراعاة بيئة الخبو الراديوية الواقعية، تعتمد التقنية المقترحة على مرشح كالمان الذي يقدر بشكل متكرر ويتنبأ بقيمة مؤشر قوة إشارة الراديو المستقبلية RSSI، كما قدم مقارنة بين تقنيات التحكم في طاقة الإرسال التكميلية، تم تقديم نتائج التحليل والمحاكاة النظرية التي توضح الأداء الأفضل للمنهجية المقترحة مقارنة باستراتيجيات التحكم في القدرة الحالية في بيئة انتشار الخبو المتغير بمرور الوقت. يوجد العديد من الأبحاث درست التغيير في طاقة الإرسال وفق متطلبات الشبكة وغير تكييفية [29][16][53][40][19]. كذلك يوجد أبحاث درست التغيير في سوية الطاقة بشكل تكميلي، قدم المرجع [30] منهجية APTC: Adaptev Transmasion Power Control التحكم في قدرة الإرسال التكميلي للعثور على مستوى الطاقة الأكثر ملاءمة للعقد، تظهر النتائج من تجارب العالم الحقيقي (1) مع الضبط الزوجي للعقد، فإن APTC تحقق المزيد من توفير الطاقة مع إمكانية ضبط أكثر دقة، و(2) مع التحكم عبر الانترنت، تكون APTC قوية حتى مع التغيرات البيئية بمرور الوقت. قدم المرجع [33] خوارزمية تكييفية AODTPC من أجل لضبط مستويات قدرة الإرسال لعقدة مستشعر من خلال دمج التغييرات الواقعية لبيئة الانتشار الراديوي من خلال استخدام مرشح كالمان، تظهر نتائج المحاكاة أن AODTPC تعمل بشكل أفضل من حيث كفاءة الطاقة وتزيد من عمر العقدة مقارنة من الخوارزميات السابقة. قدم المرجع في [3] دمجاً بين تقنية التوجيه APCEER والتحكم بطاقة

الإرسال، من أجل تقليل التداخل بين نطاقات الإرسال للعقد، تظهر المحاكاة والنتائج التجريبية أن المخطط المقترح يتفوق على استراتيجيات التوجيه الحالية المدركة للطاقة غير المزودة بآلية للتحكم في الطاقة. وبالتالي يستخدم البروتوكول المقترح في التطبيقات المدنية لشبكات الاستشعار اللاسلكية التي تحتاج إلى استخدام فائق لكفاءة الطاقة من خلال العقد المقيدة للطاقة التي تعمل في ظروف الخبو القاسية. قام المؤلفون في المرجع<sup>[43]</sup> بتقديم تقنية للتحكم بطاقة الإرسال باستخدامات الشبكات العصبونية ANN والتحكم الضبابي FLC، تظهر الخوارزمية تحسناً ملحوظاً في الأداء عند مقارنتها بمعيار بروتوكول التحكم بالوصول للوسط التقليدي IEEE 802.15.4. قام الباحث في المرجع<sup>[14]</sup> بالبحث في إمكانية تطبيق التحكم في طاقة الإرسال للتخفيف من التداخل في شبكات الحساسات اللاسلكية، وخلصت الدراسة أن زيادة طاقة الإرسال في ظل ظروف معينة لا تؤدي بالضرورة إلى أداء أفضل. في الواقع، من خلال خفض طاقة الإرسال، من الممكن الوصول إلى مستوى متوسط يزيد من أداء الشبكة الإجمالي. حسن الباحث في المرجع<sup>[28]</sup> التنبؤ بطاقة الإرسال التكميلية من حيث الدقة وفعالية الطاقة وسهولة الإعداد، وضحت الدراسة العيب الرئيسي في TPC الحالي الذي يتخذ نهجاً تفاعلياً لضبط مستوى الطاقة لعقد الإرسال، وللتغلب على عيوب reactive TPC تم اقتراح proactive TPC المشابهة لـ AODTPC.

## 7- منهجية وألية العمل

### 1-7 توصيف "خوارزمية سوية طاقة الإرسال المتكيفة حسب النشر العشوائي للعقد"

- مرحلة النشر والتهيئة (الإعداد):

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، وتستمر بالزيادة إلى الطاقة القصوى، كما تسجل العقدة عند كل مستوى للطاقة متوسط تباعد عقد الجوار عنها، عند الوصول للطاقة القصوى تقوم كل عقدة بإعلام جوارها عن القيم التي حصلت عليها. من ثم تدخل في حلقة انتظار لقدوم رسالة من البالوعة من أجل أن ترسل جداولها الخاصة وذلك من أجل الخطوات التالية للخوارزمية.

في هذه المرحلة يجب الاهتمام بطاقة العقدة التي يتم الكشف عندها 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 الاتصال وتغطية المنطقة المراد العمل فيها وتقليل استهلاك الطاقة لأخفض حد من أجل إطالة عمر الشبكة، حيث أن زيادة الطاقة وإطالة عمر الشبكة يعتبران بامتران متضاربان، من المستحسن تحديد الحد الأدنى لمستوى طاقة الإرسال الذي يحقق موثوقية الاتصال المطلوبة من أجل توفير الطاقة وزيادة عمر النظام مع معدل نقل بيانات عالي<sup>[30][37]</sup>. 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.

تقوم الخوارزمية بدراسة وضع شبكة الحساسات المنشورة عشوائياً بشكل أولي في عقدة البالوعة، وينتج عن هذه الدراسة قيمة تعبر عن صلاحية الشبكة المنشورة عشوائياً للعمل مقارنة مع الشبكة ذات التوزيع المحدد

لنفس المنطقة، بحث تقرر الخوارزمية في هذه المرحلة الحاجة لنشر عقد إضافية أو لا، وتحديد أماكن توضعها والتي يمكن نشرها بطرق مختلفة مثل (طائرات الدرونز) [48][32][21][45][38][20][15][36][12]

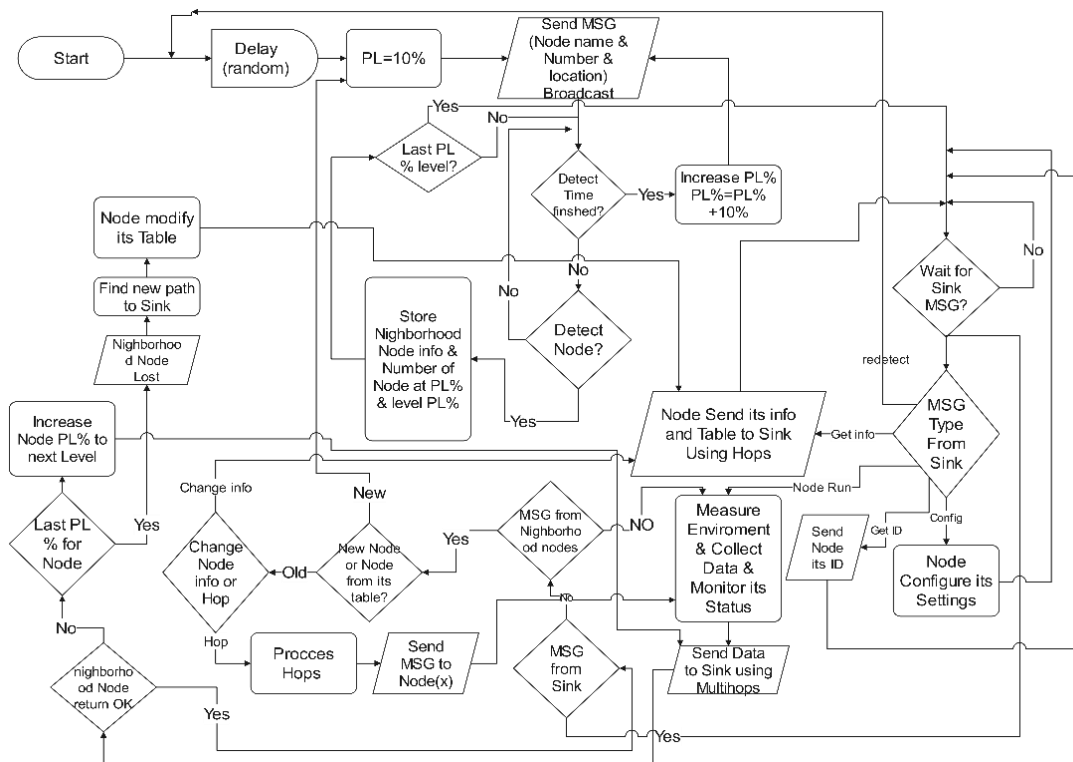
تقوم الخوارزمية المقترحة بالتعرف على جميع العقد وتصنيفها في الشبكة حسب أهميتها. وتكون العقدة المرتبطة بأكبر عدد من العقد بالنسبة لعقد الجوار هي الأكثر أهمية. تحدد كذلك الخوارزمية العقدة المركزية للنشر العشوائي والتي تمثل نهاية دورات نشر العقد في الخوارزمية، أي عندما تصبح العقدة الأكثر أهمية هي العقدة 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، إما إمكانية عمل الشبكة بحالتها الراهنة أو تتطلب إضافة عقد أخرى جديدة.

توضع عقدة البالوعة في محيط الشبكة بحيث تقوم بالتراسل مع جميع العقد المنشورة. تقوم البالوعة وفق الخوارزمية بتحديد طاقة الإرسال التي ستعمل عندها كل عقدة بحيث تحقق أفضل تغطية مع أدنى طاقة للعقدة نفسها وتحقق أفضل اتصال ثنائي الاتجاه بينها وبين العقد المجاورة.

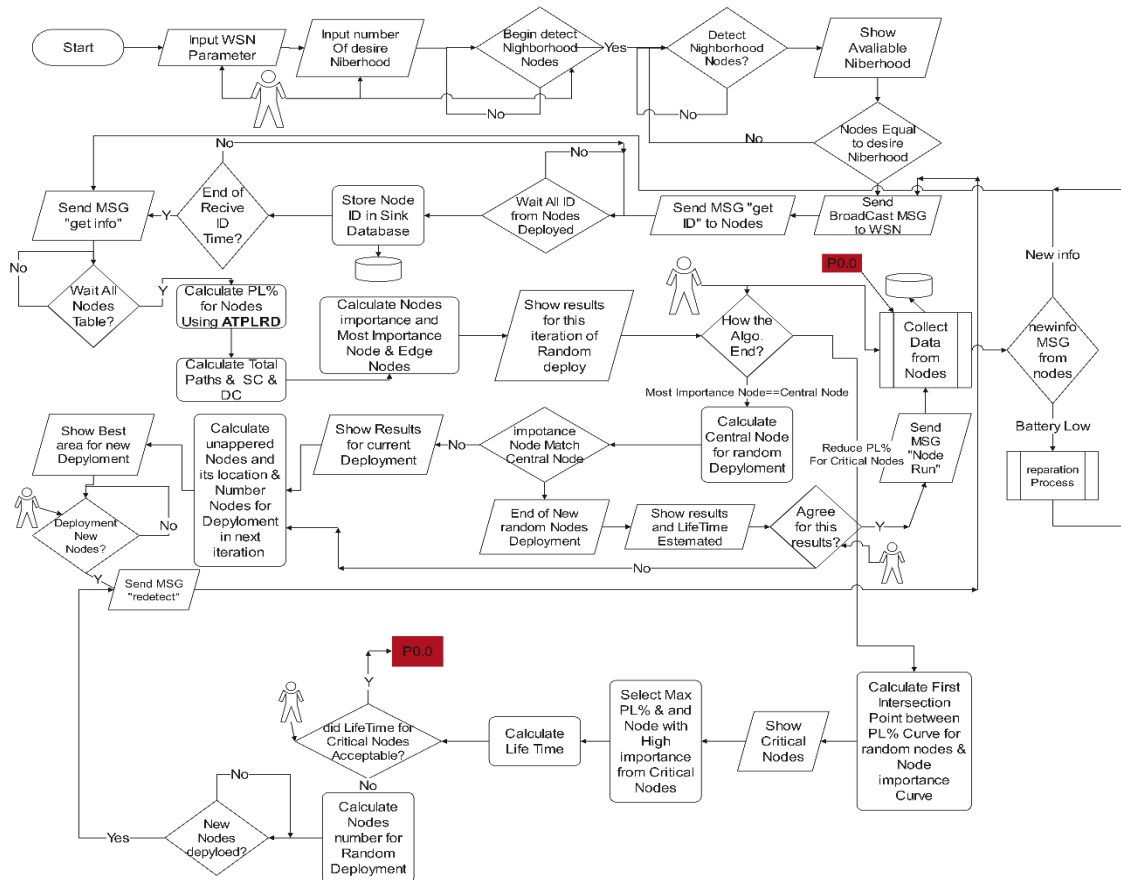
#### ● مرحلة التشغيل:

بعد تطبيق الخوارزمية المفروضة وإرسال قيم السويات الطاقية التي ستضبط عليها العقد من البالوعة، فإن الخوارزمية في عقدة البالوعة 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 فقدانها 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 البالوعة والتي بدورها تقوم بتقييم وضع الشبكة من جديد وإعطاء بارامترات التشغيل الجديدة لهذه العقدة وللعقد 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 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 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 تم اقتراح الخوارزمية بحيث تجعل الشبكة تعمل مع فقدان عقد ذات أهمية كبيرة من خلال نشر عقد جديدة. أو من خلال إرسال عقدة تعويض لمكان العقدة التي خرجت من الشبكة والتي يؤدي إلى استمرارية العمل في الشبكة لوقت أطول. يلخص عمل خوارزمية العقد في الشكل (2) وخوارزمية البالوعة بالشكل (3).



الشكل (2) الخوارزمية المقترحة التي تعمل عليها العقد المنشورة بشكل عشوائي



الشكل (3) خوارزمية عقدة البالوعة Sink وفق الخوارزمية المقترحة

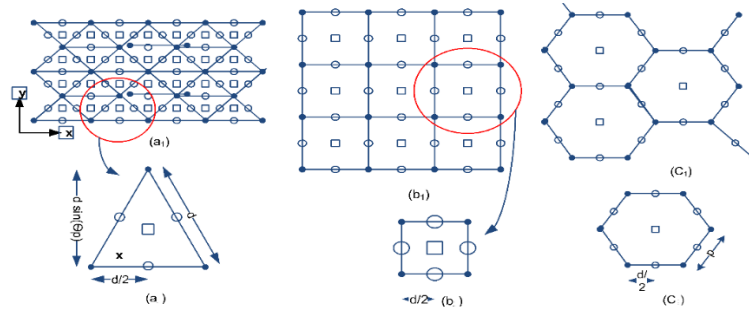


## 2-7 تطبيق الخوارزمية

عند تصميم خوارزمية لتشغيل شبكة حساسات لاسلكية لمنطقة جغرافية ذات شكل مربع محددة بالمساحة  $A$ ، يتم اختيار نوع الشبكة المحددة حسب المنطقة، وفي هذا العمل تمت الدراسة على نوعين من الشبكات ذات التوزيع المحدد، وهي الشبكات المتشابهة المحددة المربعة والمحددة السداسية. يستخدم التوزيع المحدد لحساب العدد الأولي للعقد ويستخدم هذا العدد في أول عملية نشر عشوائي وتتم المقارنة بين النشر العشوائي والتوزيع المحدد من حيث المواضع وحساب نسبة الانحراف بين التوزيع المحدد والنشر العشوائي الذي يعطي مؤشر لجودة النشر أو نسبة التطابق.

في التقنية القائمة على التوزيع الشبكي [6]، يتم تحديد مواقع عقد الحساسات على أساس نمط الشبكة، مثل الشبكة المربعة والشبكة المثلثية والشبكة السداسية.

لقد استخدم المرجع [27] 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 (4) يوضح الأنواع المختلفة للأنماط الشبكية.



الشكل (4) توزيع العقد باستخدام النمط المنتظم المثلثي والرابعي والسداسي [27].

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 لمواضع العقد في التوزيع المحدد (رباعي وسداسي) في المنطقة المستهدفة، أما العقد الاحتياطية تستخدم من أجل الترميم في مراحل النشر التالي فوق النشر الأولي.

ننتقل من المعطيات التالية الافتراضية من أجل تطبيق الخوارزمية المفروضة:

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

ومن الجدير تذكيره أن عمر الشبكة ينتهي بمجرد خروج أول عقدة عن العمل وهو أحد تعريفات عمر الشبكة الأكثر تشاؤماً [28]، 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" [51]. تربط أهمية العقدة في الشبكة بعدد الجوار المرتبط وبزمن التفريغ للمدخرات وبالعمر الشبكة وبعدها الرسائل التي تمر من خلال هذه العقدة في الخوارزمية المفروضة.

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% ونوجد عدد العقد الأولي للعقد في حالة التوزع المربع وفق المعادلة

(1) المستنتجة، حيث:

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

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

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

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

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

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

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 وحيث أن كل زمن أطول فترة منه يكون أفضل لكن على حساب التكلفة وعدد العقد الكلي، لذا دائماً نقرب إلى سوية الطاقة الأدنى، ثم إننا نحسب نصف قطر الذي تغطيه العقدة عند سوية الطاقة هذه من المعادلة (3):

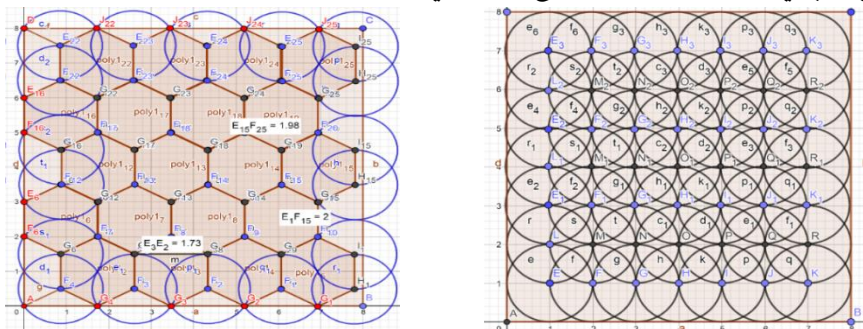
$$\Rightarrow r_{PL_{new\%}} = r_{50\%} = \frac{PL_{50\%} * r_{100\%}}{100} = 1000[m] \dots (3)$$

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:

$$n_{r_{50\%}} = INT \left( \left( \frac{8000}{1000} - 1 \right) * \left( \frac{8000}{1000} - 1 \right) \right) = 49 [\text{Nodes}]$$

نلاحظ أن عدد العقد يحقق شرط عدد العقد، وكذلك الزمن الوسطي من أجل تشغيل العقدة يحقق زمن تشغيل عمر الشبكة. إن عدد العقد عند التوزع 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 (5) يبين توزع 49 عقدة بشكل محدد وفق التوزع الرباعي و46 عقدة وفق التوزع السداسي.



الشكل (5) توزع العقد 49 وفق التوزع المربع من اليمين، و46 عقدة وفق التوزع السداسي من اليسار.

إن الأعداد المحسوبة للعقد تمثل العدد وفق التوزع المنتظم والذي يركز عليه كعدد أولي للنشر العشوائي في المسألة المدروسة. في الواقع بعد نشر العقد عشوائياً ينتج السؤال الأهم، هل هذه العقد ذات نطاق إرسال محدد والتي تحقق التغطية الكاملة للمساحة المستهدفة وفق التوزع المحدد، هي مناسبة عند نفس الطاقة في حالة النشر العشوائي للعقد؟ كما سيتبين لاحقاً أنه قطعاً لا، حيث تعمل الخوارزمية المفروضة على تكييف نطاق

الإرسال لكل عقدة حسب مكانها وحسب توزيعها بالنسبة لجيرانها وتوضعها ضمن المنطقة المستهدفة، لأنه في حالة النشر العشوائي لن توزع العقد كما في الحالة المحددة المنتظمة وستتغير سويات الطاقة دون الحد الأولي 50% المستخدم في التوزيع المحدد وبعضها فوق هذا الحد.

تستخدم مواقع العقد المحددة وفق التوزيع المحدد الأولي لمقارنة العقد الموزعة عشوائياً ومدى اقترابها من التوزيع المحدد. ومن خلال المقارنة في كل مرحلة فإن الخوارزمية تختار عدد العقد في النشر التالي، وذلك إن حددت الخوارزمية الحاجة لنشر إضافي.

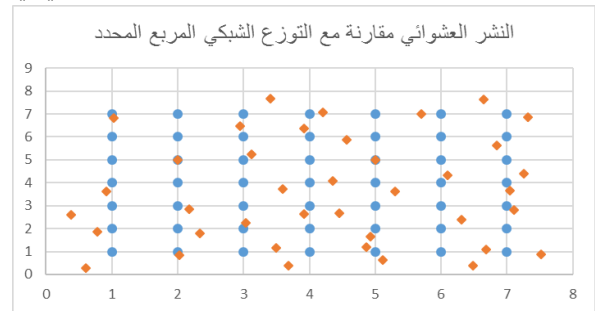
بفرض تم نشر 49 عقدة عشوائياً في حال اعتمد التوزيع المربع و46 عقدة وفق التوزيع السداسي في المنطقة المستهدفة. نفرض الحالة الأسوأ التي من الممكن أن تحدث للعقد أثناء نشرها عشوائياً وهي:

- عند النشر تعطلت مجموعة عقد (وليكن عددها 8 نسبة للتوزيع الرباعي و5 نسبة للتوزيع السداسي) بسبب السقوط أو بسبب أعطال فنية، وهي حالة فرضية في المسألة لتبيان الحالة الأسوأ في النشر العشوائي، هذا العدد اختير فرضياً لدراسة جدوى الخوارزمية ومن المحتمل أن لا تخرج أي عقدة، وهو لا يتبع سوى لفرضيات في الدراسات التي تتعلق بعملية النشر.
- خروج عقدتين من المنطقة المستهدفة وابتعادها 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، فيتبقى 39 عقدة عشوائية في المنطقة المستهدفة، يوضح الشكل (6) التوزيع المحدد الرباعي والعقد المنشورة عشوائياً، والشكل (7) التوزيع المحدد السداسي والعقد المنشورة عشوائياً، والشكل (8) النشر العشوائي في بيئة CupCarbon.



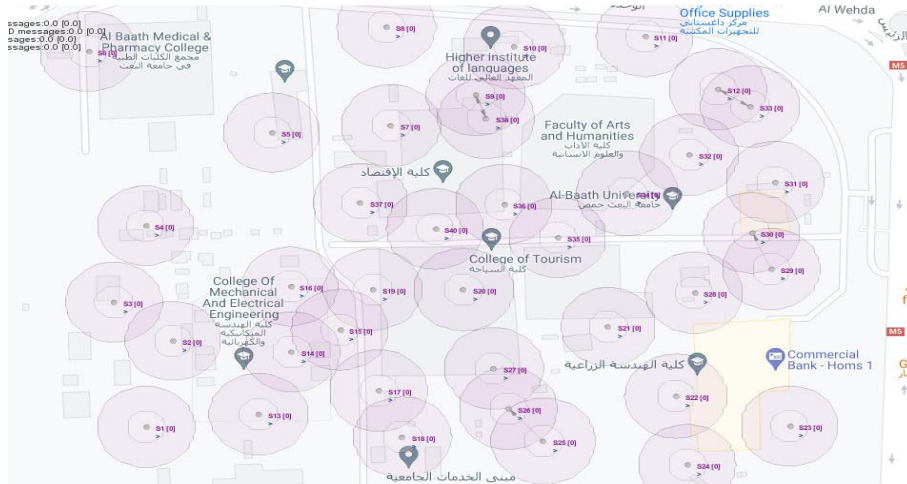
الشكل (7) النشر العشوائي مقارنة مع التوزيع الشبكي



الشكل (6) النشر العشوائي مقارنة مع التوزيع الشبكي

السداسي المحدد في المرحلة الأولى

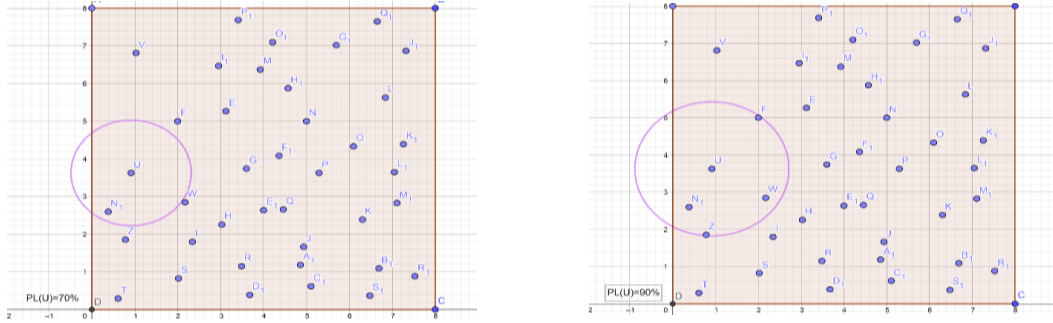
المربع المحدد في المرحلة الأولى



الشكل (8) النشر العشوائي للمسألة المدروسة 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 جوارها، حيث تحتوي كل عقدة على نظام تحديد المواقع لمعرفة إحداثيات العقدة، بفرض 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 [11] [42].

تنشئ كل عقدة جدول خاص بها من خلال التغيير في سوية طاقة الإرسال، نبين الفكرة من خلال العقدة U الموضحة بالشكل (9) و جدول سويات الطاقة المرتبطة بها وفق الجدول (1).



الشكل (9) التغيير في سوية طاقة الإرسال بالنسبة للعقدة U عند طاقة 70% و90%

الجدول (1) جدول العقدة U بعد النشر الأولي للعقد في المنطقة المستهدفة

Node U it1					
PL%	الدرجة	العقد المرتبطة	أبعاد العقد	متوسط أبعاد العقد	إحداثيات الجوار
%60	1	N1	1.16	1.16	(0.38,2.6)
%70	1	N1	1.16	1.16	(0.38,2.6)
%80	2	N1 , W	1.16, 1.48	1.32	(0.38,2.6), (2.17,2.85)
%90	4	N1,W, F,Z	1.16,1.48,1.75,1.78	1.542	..
%100	4	N1,W, F,Z	1.16,1.48,1.75,1.78	1.542	..

إن التغييرات في سوية طاقة الإرسال من الممكن أن تكون متدرجة وناعمة ويتطلب ذلك نوع مرسل يتضمن هذه الميزة، يوجد 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 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 [30].

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 الاتصال للوصول لترابط كامل.

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 التي ستعمل عليها العقد تتبع الإجراءات التالية ضمن الخوارزمية المقترحة:

- 1- ترسل البالوعة رسالة للعقد لتجميع كل البيانات المتوافرة عن العقد وسوياتها الطاقية وتشكل جداول الاتصال عند كل السويات الطاقية وتنشأ الجدول (2).
  - 2- تحسب عقدة البالوعة 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 ستنحصر 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 لظهورات جوار العقدة وتطبيق المنهجية المفروضة (الخطوة 2) في الخوارزمية فإن السوية الطاقية للإرسال يتم تحديدها ويحسب عدد الروابط المكافئ عند هذه السوية، والطاقة التي ستعمل عليها العقدة هي الطاقة التي تكافئ الظهور المحسوب من الخوارزمية المفروضة.
  - 4- يأخذ الوسط لقيم الظهورات عند سويات الطاقة الغير صفرية حصراً.
- يمكن تلخيص عمل الخوارزمية المفروضة بالمعادلة (4) المستنتجة، من أجل تحديد الاتصالات والسويات الطاقية وحيث تحدد السوية الطاقية عند الرقم المكافئ من ظهورات جوار العقدة:

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

ATPLRD: تمثل النتيجة التي تحدد السوية الطاقية للعقدة. 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.

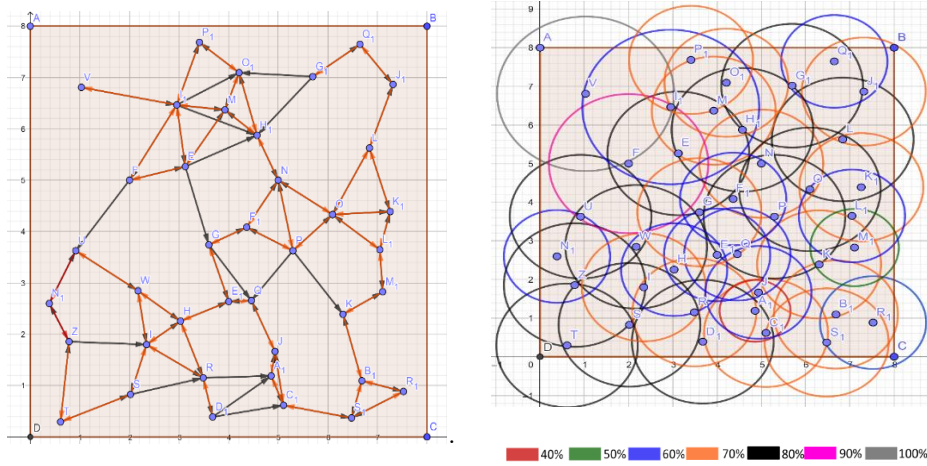
الجدول (2) جدول ظهور الجوار للعقد العشوائية عند سويات الطاقة المختلفة في الدورة الأولى

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	الخوارزمية ATPLRD
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

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	الخوارزمية ATPLRD
4	U	0	0	0	1	1	2	4	4	2	2
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
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
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
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 (10) السوية الطاقية لكل عقدة بعد تحديدها من قبل عقدة البالوعة ومخطط الاتصالات

للعقد.



الشكل (10) السويات الطاقية للعقد في النشر الأول بعد تحديدها من قبل البالوعة، مخطط الاتصالات النهائي للعقد العشوائية في الدورة الأولى للخوارزمية

من خلال الشكل (10) يتبين تحقق ترابط كامل بين عقد الشبكة. ولكن يوجد مسارات أحادية الاتجاه، لذا ننظر في الدورات اللاحقة للخوارزمية للتقليل منها ما أمكن، للوصول لمخطط بياني موجه ثنائي الاتجاه. وكذلك لتحقيق اتصالات على الأقل لكل عقدة أي وجود جوارين في الحد الأدنى. من أجل حساب عدد الروابط الأحادية والثنائية فإننا نطلق من عدد الجوار عند طاقة البث الموافقة التي حددت لكل عقدة في عقدة البالوعة وفق الخوارزمية المفروضة. نحسب عدد المسارات الكلي وفق المعادلة المستنتجة (5) التالية:

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

ATPLRD: الخوارزمية المفروضة حيث تقوم بالنظر للوسط وتعامل 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 عشوائياً في الدورة الحالية للخوارزمية.

ينتج: عدد المسارات الكلي=119، الأحادية=15=النسبة 12.605%، الثنائية=52=النسبة 87.394%. وتحسب المسارات الأحادية والثنائية كنسبة مئوية من المسارات الكلية وفق: (6) للمسارات الأحادية لكل عقدة و(7) للمسارات الأحادية الكلية و(8) للمسارات الثنائية التي تم استنتاجها أيضاً، حيث في الدورات اللاحقة للخوارزمية وعند زيادة عدد العقد فإن عدد المسارات يزداد بين العقد، لذا نعتمد على المقارنة كنسبة مئوية.

$$neighbour\ of\ neighbour; node(x) \in node(x): [j: 1 \rightarrow ATPLRD(node(x))] \Rightarrow SC(x) \\ = ATPLRD(node(x)) - 1 \quad \dots (6)$$

وتحسب عدد الروابط الفردية الكلية من خلال العلاقة (7):

$$SC(total) = \sum_{i=1}^n SC(i) \quad \dots (7)$$

بعد تحديد عدد الروابط الأحادية لكل عقدة فإننا نجمع هذه القيم للحصول على الاتصالات أحادية الاتجاه، وبما أنه تم حساب عدد الروابط الكلية فإننا نستطيع حساب الاتصالات ثنائية الاتجاه من خلال (8):

$$DC(total) = (Total\ Paths - \sum_{i=1}^n SC(i))/2 \quad \dots (8)$$

$n$ : عدد العقد الكلية للنشر العشوائي. DC: عدد الروابط الثنائية الكلية SC: الروابط الفردية لكل عقدة. نحسب في كل مرحلة متوسط استهلاك الطاقة للعقد بعد تحديدها من قبل عقدة البالوعة وفق العلاقة

(9):

$$Avg_{it1}(E) = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} = 71.282\% \quad \dots (9)$$

حتى هذه المرحلة فإنه تم تحديد السويات الطاقية للعقد وحددت المسارات وحسب متوسط استهلاك الطاقة للعقد. ولكن يجب دراسة جودة النشر العشوائي، حيث تتم هذه الإجراءات من خلال مقارنة مواقع العقد المنشورة عشوائياً مع مواقع العقد المنتظمة المحددة وفق أحد التوزيعات الافتراضية المستخدمة، وهنا تمت الدراسة والمقارنة مع توزيعين محددين (الرباعي والسداسي). يقارن موقع كل عقدة عشوائية مع كل مواقع العقد المنتظمة من خلال معادلة المسافة بين نقطتين، المعادلة (10):

$$d(n_j)_{m(i)} = \sqrt{(x_{node_n} - x_{node_{m(i)}})^2 + (y_{node_n} - y_{node_{m(i)}})^2} \quad \dots (10)$$

$m = 1, 2, \dots, m$  عدد العقد في التوزيع المنتظم

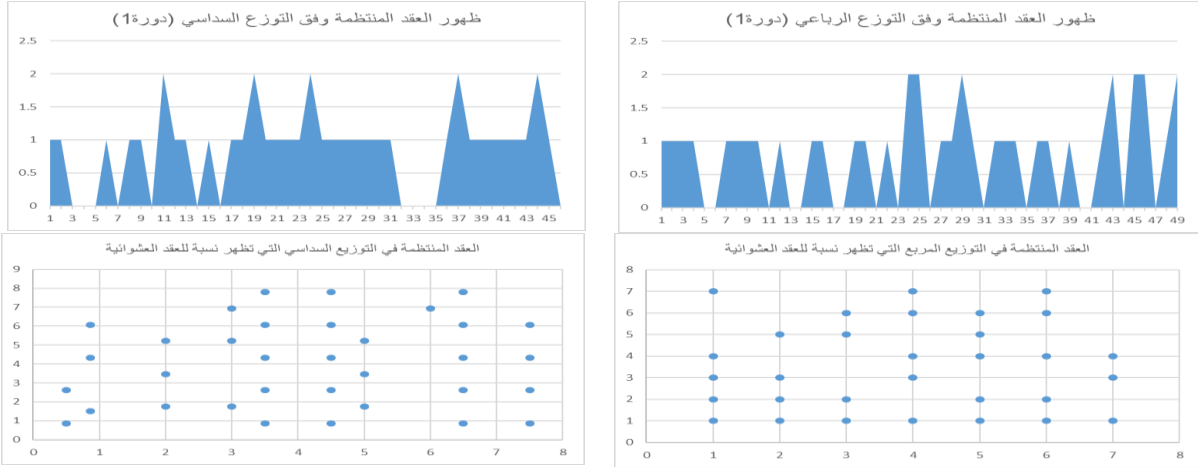
$n = 1, 2, \dots, n$  هي العقدة من التوزيع العشوائي التي تختبر مع عقد التوزيعات المنتظمة.

تنتج مجموعة من القيم لكل عقدة عشوائية ناتجة عن مقارنة موضع العقدة العشوائية مع مواضع العقد المنتظمة والتي عددها  $m$ ، نوجد أصغر قيمة بين القيم الناتجة والتي تمثل اقتراب العقدة العشوائية عن أقرب عقدة من التوزيع المنتظم والتي تمثل نسبة انحراف هذه النقطة العشوائية عن التوزيع المنتظم أو ما نعتبره نسبة الخطأ للعقدة العشوائية أو انزياحها عن التوزيع المنتظم (خطأ الانزياح Displacement Error أو خطأ التطابق Match error للعقدة العشوائية) وفق المعادلة (11) التالية:

$$D\_Error(n_j) = \min(d(n_j)_{m(1)}, d(n_j)_{m(2)}, \dots, d(n_j)_{m(m)}) \quad \dots (11)$$

بعد حساب انزياح العقدة العشوائية عن كل العقد المنتظمة فإن أصغر قيمة من انحرافات العقدة يشير لأحد العقد في التوزيع المنتظم. تحدد العقدة المحددة التي تقابل هذا الانزياح بالنسبة لكل عقدة من النشر العشوائي.

في نهاية العملية يتم تحديد العقد المحددة الظاهرة من خلال التوزيع العشوائي، يبين الشكل (11) كثافة الظهور للعقد المنتظمة وفق التوزيع المحدد الرباعي وكثافة الظهور للعقد المنتظمة وفق التوزيع المنتظم السداسي.



الشكل (11) كثافة الظهور للعقد المحددة بعد النشر العشوائي للتوزيع الرباعي، وللتوزيع السداسي.

من الشكل (11) يتبين المناطق الأقل تغطية والتي تستهدف في دورات النشر التالي للخوارزمية. بعد إيجاد حالات الظهور للعقد العشوائية بالنسبة للعقد المنتظمة المربعة والسداسية فإنه يمكن حساب نسبة التطابق Match ratio من نسبة الظهور للعقد العشوائية من العلاقة (12):

$$\text{Match ratio} = (\text{Appeared regular nodes} * 100) / (\text{Total Number of regular nodes}) \dots (12)$$

نحسب نسبة التطابق لكلا التوزيعين المنتظمين في الجدول (3).

الجدول (3) نسبة التطابق للعقد العشوائية مع التوزيع المنتظم في الدورة الأولى للخوارزمية وفق كلا التوزيعين.

عدد العقد المنتظمة أو المحددة	العدد الظاهر للعقد في الدورة الأولى للخوارزمية	نسبة التطابق في الدورة الأولى للخوارزمية	العدد الظاهر ونسبة التطابق في الدورة الثانية للخوارزمية	...	العدد الظاهر ونسبة التطابق في الدورة n للخوارزمية
Lattice=49	31	63.265306%	..	...	..
Hex=46	34	73.913043%	..	...	..

في الحقيقة إن الخوارزمية يجب أن تفحص شرط التوقف عن النشر الإضافي للعقد لتقرر أن دورات الخوارزمية انتهت أو يجب نشر عقد جديدة، يتبين أننا بحاجة لنشر جديد فوق النشر الأولي للمسألة المدروسة، وذلك من خلال تعريف العقدة المركزية للنشر العشوائي والعقدة الأكثر أهمية. نوجد العقدة المركزية للتوزيع العشوائي من خلال حساب Centroid للإحداثيات العقد العشوائية من خلال العلاقة (13):

$$\text{Centroid}(x,y) = \left( \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} \right) = (4.287179, 3.777592) \dots (13)$$

لحساب العقدة المركزية نحسب مسافة كل عقدة من العقد عن العقدة المركزية والعقد التي تحقق أقل

مسافة تعتبر العقدة المركزية للنشر العشوائي وفق المعادلة (14):

$$\begin{aligned} \text{Central Node is} &= \text{Min} \left( d_{\text{centroid} \rightarrow \text{node}_1} \right. \\ &= \sqrt{(x_{\text{centroid}} - x_{\text{node}_i})^2 + (y_{\text{centroid}} - y_{\text{node}_i})^2}, \dots, d_{\text{centroid} \rightarrow \text{node}_n} \left. \right) \dots (14) \\ &\Rightarrow \text{Node is F1} \end{aligned}$$



إن العقدة المركزية تبقى نفسها إلا إذا اقتربت أحد العقد من Centroid في مراحل النشر التالية، ولكن العقدة الأكثر أهمية تتغير حسب العقد المنشورة، لذا نحسب العقدة الأكثر أهمية نسبة للتوزيع وننظر لاحقاً لتكون هذه العقدة هي العقدة المركزية، تحسب أهمية العقدة من خلال تطبيق DEVSQ على ظهورات جوار العقدة عند السويات الطاقية كافة من الجدول (2)، أي حساب مجموعة الانحرافات التربيعية عن المتوسط لظهورات العقدة عند سويات الطاقة حتى عند السويات التي لاتحوي جوار وتكون صفرية وفق المعادلة (15):

$$Node_{Importance}(i) = MAX_{MAX(PL\%)}(DEVSQ(neighbour\ of\ Node_x) - DEVSQ(neighbour\ of\ Node_i)) \\ = MAX_{MIN(PL\%)}\left(\sum (x - \bar{x})^2\right) - \sum_{MIN(PL\%)} (x - \bar{x})^2 \dots (15)$$

- DEVSQ: مجموع الانحرافات التربيعية عن المتوسط لظهورات جوار العقدة عند سويات الطاقة المدروسة.  
- x: ظهور العقدة عند كل سوية طاقية للإرسال.  $\bar{x}$ : متوسط ظهور العقدة عند كل السويات الطاقية للإرسال.

بعد حساب أهمية كل عقدة نسبة للنشر العشوائي حسب الجدول (2)، فإنه يتبين أن العقدة الأكثر أهمية هي العقدة P، قيم الأهمية للعقد مبينة في الجدول (4)، إن شرط توقف الخوارزمية الذي وضع لتوقف النشر للعقد الإضافية في الدورات التالية هي أن تصبح العقدة الأكثر أهمية نفسها العقدة المركزية، أو أنه تم نشر كل العقد المتاحة من أجل المسألة المدروسة، العدد الكلي u للعقد.

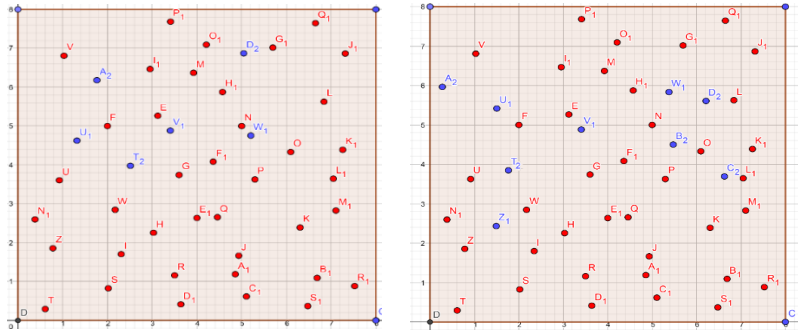
الجدول (4) سوية الطاقة لكل عقدة التي حددت مع حساب أهمية كل عقدة بعد النشر الأول.

رقم العقدة	اسم العقدة	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
35	F1	29.875	60
.	.	.	.
1	T	96.375	80
27	Q1	96.375	60
11	V	103	100

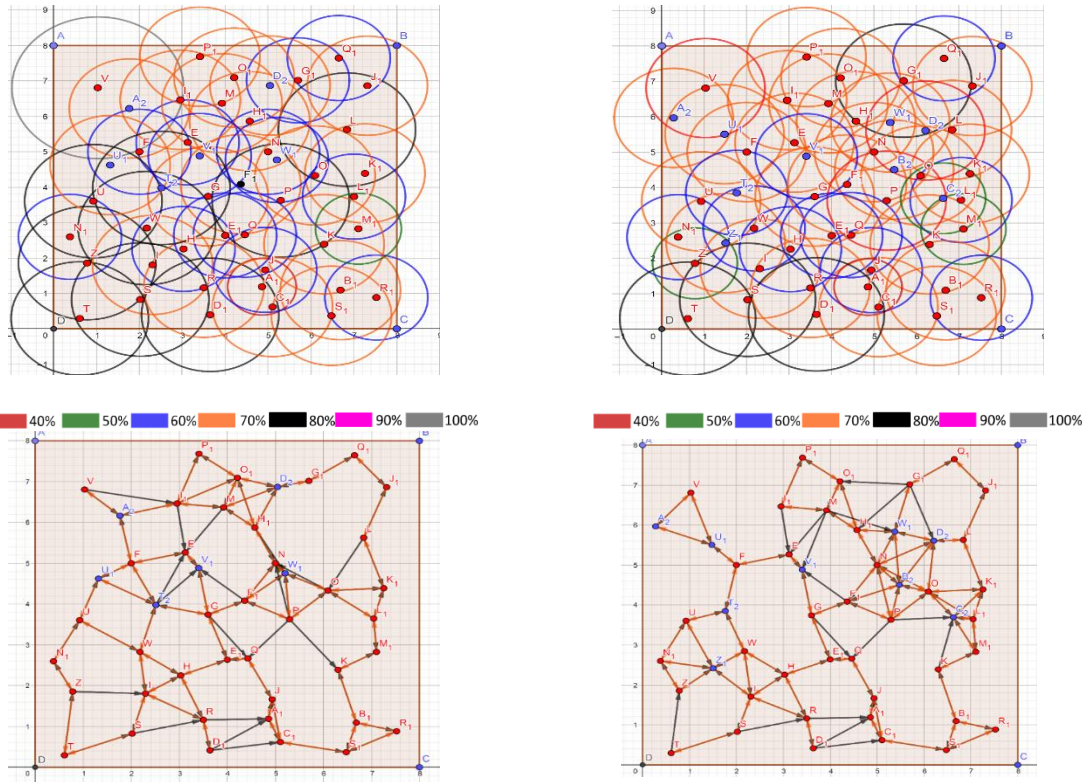
بما أن العقدة الأكثر أهمية هي P ولا تطابق العقدة المركزية F1 فإننا نحتاج لنشر عقد إضافية، إن عدد العقد الإضافية لا يكون اعتباطي إنما وضعت معادلة لحسابه ترتبط بظهور العقد وفق التوزيع المحددة، بالعود للشكل (11) فإن عدد العقد التي لم تظهر نسبة للتوزيع المحدد الرباعي (18 عقدة)، وعدد العقد التي لم تظهر نسبة للتوزيع المحدد السداسي (12 عقدة)، ولكن كما ذكرنا أننا نريد الوصول لأقل عدد عقد يحقق عمل الشبكة والاتصال بين العقد بحيث يكون عدد العقد المنشورة متناقص في كل مرحلة، حيث فرض أن العدد الذي يجب أن ينشر للعقد في الدورة التالية للنشر مساوي إلى نصف قيمة العقد الغير ظاهرة نسبة للتوزيع المحدد. وفق المعادلة (16):

$$Number\ of\ Next\ Deployment\ Nodes\ in\ iteration(i) = int\left(\frac{disappered\ Nodes_{deterministic}(i-1)}{2}\right); \\ \leq (u - all\ deployment\ nodes\ in\ all\ iterations); Deterministic(Hex, Lattice.. etc) \dots (16)$$

من خلال تطبيق هذه المعادلة فإن عدد العقد التي ستنشر وفق التوزيع المحدد الرباعي هي 9 و6 وفق التوزيع المحدد السداسي. إن نشر العقد يتم في مناطق العقد التي لم تظهر كما وضح بالشكل (11) السابق، بعد النشر في المرحلة الثانية للعقد وفق التوزيع المنتظمين فإن العقد المنشورة تبين بالشكل (12).



الشكل (12) نشر 9 عقد وفق التوزيع الرباعي من اليمين، ونشر 6 عقد وفق التوزيع السداسي من اليسار بعد نشر العقد فإن خطوات الخوارزمية تتكرر في الدورة الثانية للنشر، ونتيجة لذلك فإن سويات الطاقة للعقد والاتصالات للعقد ومتوسط استهلاك الطاقة ونسبة الظهور تحسب من جديد وفق التوزيعين المحددين، الشكل (13) يوضح السويات الطاقية للإرسال والاتصالات بين العقد في النشر الثاني للخوارزمية وفق كلا التوزيعين.



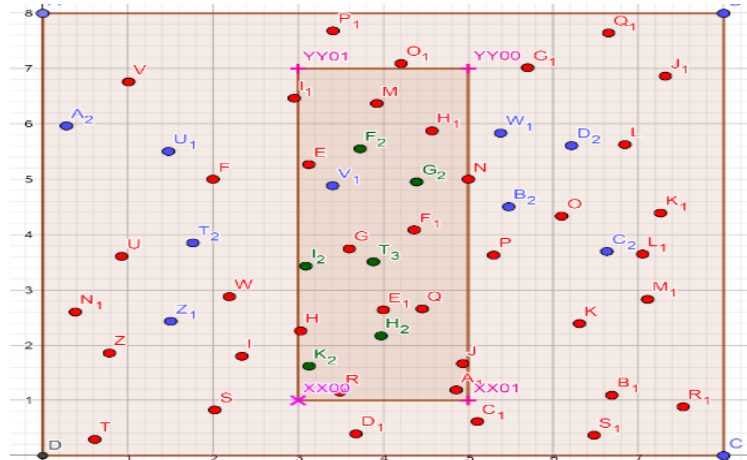
الشكل (13) السويات السطاقية للعقد والاتصالات المشكلة بين العقد وفق التوزيع الرباعي من اليمين، ووفق التوزيع السداسي من اليسار

من خلال تطبيق المعادلات (5) و(9) و(15) فإننا نحسب عدد المسارات ومتوسط استهلاك الطاقة والعقدة الأكثر أهمية في كلا التوزيعين والمدينة في الجدول (5).

الجدول (5) المسارات ومتوسط استهلاك الطاقة والعقدة الأكثر أهمية نسبة لكلا التوزيعين في النشر الثاني

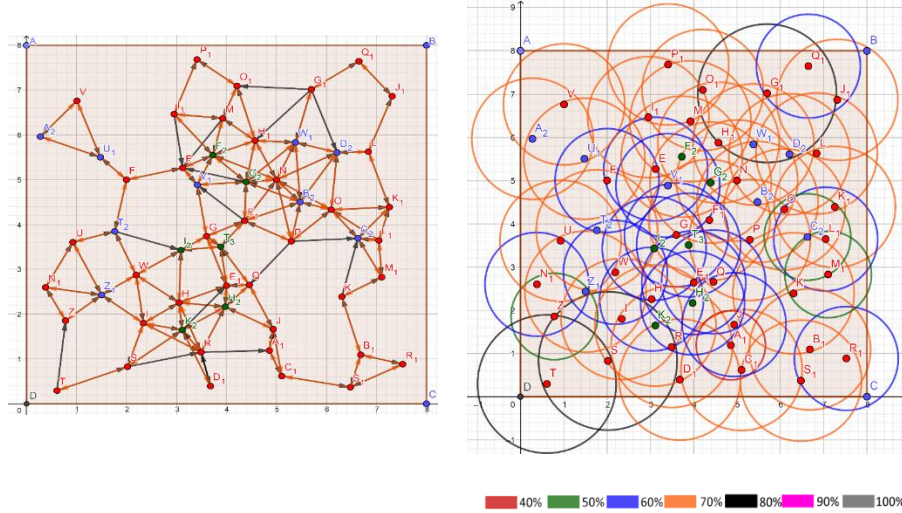
مقارنة النشر العشوائي وفق التوزيع السداسي (دورة 2)	مقارنة النشر العشوائي وفق التوزيع الرباعي (دورة 2)	
عدد المسارات الكلي = 148 عدد المسارات الأحادية = 18 = النسبة %12.162 عدد المسارات الثنائية = 65 = النسبة %87.837	عدد المسارات الكلي = 167 عدد المسارات الأحادية = 17 = النسبة %10.179 عدد المسارات الثنائية = 75 = النسبة %89.820	المسارات
$Avg_{it2(hex)}(E) = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n}$ = 68.444%	$Avg_{it2(lattice)}(E) = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n}$ = 66.4583%	متوسط استهلاك الطاقة
F1	P	العقدة الأكثر أهمية

من خلال الجدول (5) يتبين أن العقدة الأكثر أهمية في التوزيع المحدد السداسي في الدورة الثانية تم تحديدها وهي F1 وهي تطابق العقدة المركزية، وعليه فإن دورات الخوارزمية انتهت نسبة للتوزيع المحدد السداسي وتنتقل الشبكة من مرحلة الإعداد إلى مرحلة العمل. أما العقدة الأكثر أهمية بالنسبة للتوزيع المنتظم الرباعي فإنها P وعليه فإننا نحتاج لنشر عدد جديد من العقد من خلال حساب العقد التي لم تظهر في الدورة الثانية، إن عدد العقد التي سيتم نشرها مساوي إلى 6 عقد، الشكل (14).



الشكل (14) نشر 6 عقد في النشر الثالث للعقد نسبة للتوزيع المحدد الرباعي

بعد نشر 6 عقد عشوائيا في الدورة الثالثة للخوارزمية وتطبيق نفس الخطوات السابقة فإن سويات الطاقة ومخطط الاتصالات يتم تحديدها في الشكل (15).



الشكل (15) السويات الطاقية ومخطط الاتصالات للعقد في المرحلة الثالثة لخوارزمية - التوزيع الرباعي من خلال تطبيق المعادلات (5) و(9) و(15) فإننا نحسب عدد المسارات ومتوسط استهلاك الطاقة والعقدة الأكثر أهمية، الجدول (6).

الجدول (6) المسارات ومتوسط استهلاك الطاقة والعقدة الأكثر أهمية نسبة للتوزيع الرباعي في النشر الثالث

مقارنة النشر العشوائي وفق التوزيع الرباعي (دورة 3)	مقارنة النشر العشوائي وفق التوزيع الرباعي (دورة 3)	مقارنة النشر العشوائي وفق التوزيع السداسي (دورة 3)
لا يوجد	عدد المسارات الكلي = 231 عدد المسارات الأحادية = 15 = النسبة 6.493% عدد المسارات الثنائية = 108 = النسبة 93.506%	المسارات
لا يوجد	$Avg_{it3}(lattice)(E) = \frac{\sum_{i=1}^N E_i}{N}$ = 65.9259%	متوسط استهلاك الطاقة
لا يوجد	F1	العقدة الأكثر أهمية

في الدورة الثالثة فإن العقدة الأكثر أهمية تطابقت مع العقدة المركزية ومنه تتوقف الخوارزمية عن النشر.

## 8- النتائج والمناقشة

ترتبط نهاية الخوارزمية بأربع متغيرات (نسبة التطابق وعدد العقد العشوائية المنشورة نسبة للعدد الكلي المتاح ونسبة الترابط ثنائية الاتجاه وعدد الجوار)، حيث نسبة التطابق كلما كانت مرتفعة كلما كانت أفضل ولكن عند أدنى عدد يمكن تحقيقه من العقد، وذلك للوصول لترابط ثنائي الاتجاه ما أمكن وبجوار لا يقل عن عقدتين لكل عقدة. إن المتغيرات الأربعة المذكورة ضرورية ولكن غير كافية كونها تتغير مع دورات الخوارزمية ولا يمكن اعتمادها لتحديد نهاية الخوارزمية بشكل نهائي، ولا يمكن أن تحقق الحالة المحددة للتوزيع أو الحالة المثلى لتوزيع العقد كون النشر عشوائي.

هذه المتغيرات الأربع تحدد من مواصفات النشر العشوائي للمسألة المدروسة، ولكنها ضرورية وغير كافية، من خلال تصميم الخوارزمية حدد شرط لنهاية الخوارزمية، وهو تطابق العقدة الأكثر أهمية مع العقدة المركزية للعقد المنشورة، أي أن تصبح العقدة الأكثر أهمية هي العقدة المركزية.

إن هذه المنهجية جيدة والتي تعطي أصغر عدد للعقد والتي تحقق عمل الشبكة ولكنها ليس من الضروري أن تحقق زمن التشغيل المطلوب في المسألة، ولكن على الأقل أمنت عمل الشبكة بأفضل حالة ولأطول فترة ممكنة ضمن حدود التكلفة. لكن إذا كان زمن التشغيل أسامي ويجب الالتزام به فإننا ننتقل إلى مراقبة العقد الحرجة للتوزع العشوائي<sup>[2]</sup> التي خروجها يؤثر على عمر الشبكة، بحيث نجعل طاقة البث لها أصغر ما يمكن لتحقيق ساعات التشغيل وهذا الكلام يرتبط بزيادة الكلفة وإعادة النشر للعقد.

إن تطبيق الخوارزمية على المسألة المدروسة أعطى نتيجة للتطابق نسبة لكلا التوزيعين ولعدد العقد الذي تم استخدامه لإتمام دورات الخوارزمية، يبين الجدول (7) نسبة التطابق وعدد العقد المستخدمة في كل دورات الخوارزمية حسب نوع التوزيع المحدد (رباعي أو سداسي).

#### الجدول (7) نسبة التطابق للعقد العشوائية وعدد العقد المستخدمة في الدورة الثالثة للخوارزمية نسبة للتوزيعين.

نسبة تطابق									
عدد العقد المنتظمة أو المحددة	عدد العقد العشوائية في النشر الأول	العدد الظاهر للعقد الدورة الأولى	عدد العقد العشوائية في النشر الثاني	عدد العقد العشوائية في النشر الثالث	نسبة التطابق الدورة الثانية للخوارزمية	عدد العقد العشوائية في النشر الثالث	عدد العقد الظاهر للعقد الدورة الثالثة	نسبة التطابق الدورة الثالثة للخوارزمية	عدد العقد الظاهر للعقد الدورة الثالثة
39	31	63.26530%	48	36	73.46938%	54	40	81.6326%	رباعي= 49
39	34	73.91304%	45	36	78.26086%	--	--	--	سداسي= 46

من خلال دراسة الجدول (7) تبين أن مقارنة النشر العشوائي مع التوزع السداسي يميل للوصول لنهاية عملية النشر بشكل أسرع من التوزع الرباعي، أي الوصول لنهاية الخوارزمية بعدد أقل من العقد، ولكن عند أقل نسبة من التطابق بين العقد، وهذا يعود لشكل الخلية السداسية وتوضع العقد عليها، وعادة تعتمد من قبل مشغلي شبكات الخليوي في توزيع الأبراج.

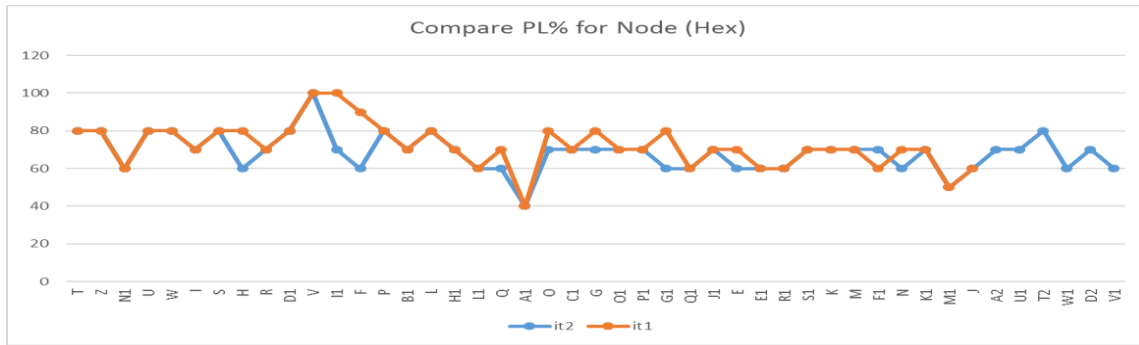
إن زيادة عدد العقد ودورات الخوارزمية وفق التوزع الرباعي أوصل النشر لمستوى أعلى من التطابق ولكن ذلك على حساب التكلفة وعدد العقد الكلية، حيث زادت التكلفة وزادت نسبة التطابق. وفي النهاية فإن نوع التطبيق ومتطلباته هي التي تحكم على جودة النشر.

ليس من المنطقي الاستمرار بزيادة النشر الذي يحسن نسبة التطابق نظرياً، إلا أنه بعد تحقق شرط توقف الخوارزمية فإن أي زيادة على عدد العقد المنشورة لن يكون تأثيره ملحوظ، وكلما زدنا دورات النشر فإن الكلفة ستزداد من دون جدوى. لذا كان الهدف منذ البداية الوصول لموازنة بين عدد العقد المنشورة وبين سوية طاقة الإرسال التي ستخصص لكل عقدة. إن النتائج النهائية للمسألة المدروسة عند النشر العشوائي ومقارنتها مع التوزيعين المحددين لنفس المنطقة المستهدفة، مبينة في الجدول (8) و(9).

الجدول (8) النتائج النهائية عند مقارنة النشر العشوائي مع التوزيع المحدد السداسي

النشر العشوائي عند اعتماد التوزيع المنتظم السداسي	
عدد دورات الخوارزمية	2
عدد العقد المستخدمة من العقد الكلي	45 عقدة فعالة و 7 عقد معطلة من 75 عقدة
نسبة العقد العشوائية للعقد المحددة	0.97 من العقد المحددة
عدد المسارات الكلي (الروابط الثنائية والفردية)	الكلي:148، الثنائية:65، الفردية:18، النسبة 87.837% ثنائي و12.162% فردي
نسبة التطابق العقد العشوائية مع العقد المنتظمة	% 78.26086
متوسط طاقة البث نسبة للتوزيع المنتظم	%68.444
متوسط طاقة البث في بداية الخوارزمية	%71.282
نسبة التحسين لعدد العقد في استهلاك الطاقة	%23.07

إن مخطط استهلاك الطاقة للعقد وفق النشر العشوائي بمراحلته حسب التوزيع السداسي والذي يبين الانخفاض في طاقة البث لمجموعة من العقد، والذي يوضح التحسين الذي أنتجته الخوارزمية على العقد في النشر العشوائي مبينة في الشكل (16).



الشكل (16) مخطط استهلاك الطاقة للعقد خلال دورات الخوارزمية عند اعتماد التوزيع المحدد السداسي

من خلال الجدول (11) يتبين أن النشر العشوائي والذي تمت مقارنته مع التوزيع المحدد السداسي وصل إلى نهاية عملية النشر خلال عملية نشر إضافية فوق النشر الأولي، وهذا يعتبر جيد لأن عدد العقد المستخدمة بقي قليل 45 عقدة منشورة عشوائياً ضمن المنطقة المستهدفة، أي أن الخوارزمية أنشأت موازنة بين عدد العقد والسوية الطاقية التي تعمل عليها العقد، وحيث أن متوسط استهلاك الطاقة في أول عملية نشر كان 71.282% وفي نهاية الخوارزمية أصبح 68.444%، ومنه تم الوصول لتحسين مقداره 23.07% بالنسبة للشبكة أي تم تقليل طاقة البث لعقد من الشبكة بهذه النسبة، الشكل (16). وبالمجمل من خلال تقليل متوسط طاقة البث للعقد فإننا نحسن متوسط عمر الشبكة.

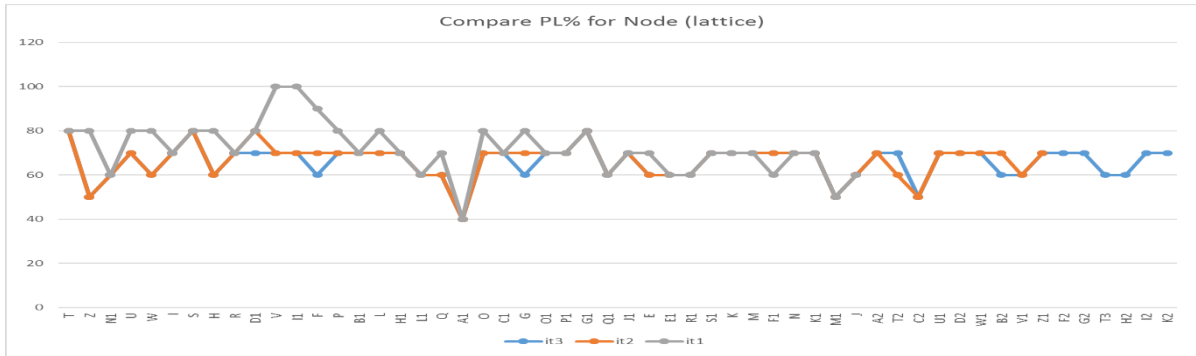
نلاحظ أن نسبة العقد العشوائية للعقد المحددة أعطى القيمة 0.97 في نهاية الخوارزمية، وهذا مؤشر جيد أن عدد العقد العشوائية التي تعمل في المنطقة المستهدفة من خلال تشكيل الروابط بينها وفق الخوارزمية المفروضة ذات نشر جيد وتحقق متطلبات التشغيل بالحد الأدنى عند أقل كلفة ممكنة.

إن نسبة التطابق بين النشر العشوائي والتوزيع المحدد حقق 78.26086% وهو نسبة جيدة، كون النشر عشوائي والذي يعزز جودة هذا النشر أن القيمة " نسبة العقد العشوائية للعقد المحددة => 1"، أي أن الخوارزمية انتهت من مرحلة الإعداد وانتقلت إلى مرحلة التشغيل بعدد عقد أقل من العدد الأولي للنشر. إن أحد أهداف الخوارزمية المفروضة هو الوصول لترابط ثنائي بين العقد بأكبر نسبة ممكنة عند أقل عدد من العقد وعند مستوى طاقة للعقد أقل ما يمكن، حيث إن الروابط الثنائية بين العقد حققت نسبة 87.837%.

#### الجدول (9) النتائج النهائية عند مقارنة النشر العشوائي مع التوزيع المحدد الرباعي

النشر العشوائي عند اعتماد التوزيع المنتظم الرباعي	
عدد دورات الخوارزمية	3
عدد العقد المستخدمة من العقد الكلي	54 فعالة و 10 عقد معطلة من 75 عقدة
نسبة العقد العشوائية للعقد المحددة	1.102 من العقد المحددة
عدد المسارات الكلي (الروابط الثنائية والفردية)	الكلي: 230، الثنائية: 108، الفردية: 15، النسبة 93.506% ثنائي و 6.493% فردي
نسبة التطابق العقد العشوائية مع العقد المنتظمة	81.6326%
متوسط طاقة البث في نهاية الخوارزمية	65.9259%
متوسط طاقة البث في بداية الخوارزمية	71.282%
نسبة التحسين لعدد العقد في استهلاك الطاقة	31.25%

إن مخطط استهلاك الطاقة للعقد وفق النشر العشوائي بمراحله الثلاث حسب التوزيع الرباعي والذي يبين الانخفاض في طاقة البث لمجموعة من العقد، والذي يوضح التحسين الذي أنتجته الخوارزمية على العقد في النشر العشوائي مبينة في الشكل (17).



الشكل (17) مخطط استهلاك الطاقة للعقد خلال دورات الخوارزمية عند اعتماد التوزيع المحدد الرباعي من خلال الجدول (12) يتبين أن النشر العشوائي والذي تمت مقارنته مع التوزيع المحدد الرباعي وصل إلى نهاية عملية النشر، خلال عمليتي نشر إضافيتين فوق النشر الأولي، هنا عدد العقد المستخدمة 54 عقدة منشورة عشوائياً ضمن المنطقة المستهدفة، إن متوسط استهلاك الطاقة في أول عملية نشر كان 71.282% وفي نهاية الخوارزمية أصبح 65.9259% وهي نسبة أفضل مما كانت عليه مقارنة بالتوزيع السداسي ولكن على حساب الكلفة، حيث زادت الكلفة هنا، أي أن الخوارزمية غيرت في السويات الطاقية للإرسال حسب العقد المنشورة عشوائياً ومنه تم الوصول لتحسين مقداره 31.25% بالنسبة للشبكة أي تم تقليل طاقة البث لعقد من الشبكة بهذه النسبة، الشكل (17). وبالمجمل من خلال تقليل متوسط طاقة البث للعقد فإننا نحسن متوسط عمر الشبكة، نلاحظ أننا إذا

استمرينا بنشر عقد جديدة أي زيادة الكلفة فإن مقدار التحسين سيزداد، ولكن لن تستمر الزيادة إلى اللانهاية، حيث الهدف الوصول للموازنة بين الكلفة وعمر الشبكة.

نلاحظ أن نسبة العقد العشوائية للعقد المحددة أعطى القيمة 1.102 في نهاية الخوارزمية. وهذا مؤشر على أن عدد العقد العشوائية التي تعمل في المنطقة المستهدفة حققت الاتصال بين العقد وانتقلت لمرحلة العمل بزيادة مقدارها 0.102، عادة من الطبيعي أن تكون هذه النسبة أكبر من الواحد ولكن كلما صغرت كلما قلت التكلفة للشبكة، وتعود الزيادة فوق قيمة الواحد لعشوائية العقد المنشورة في المنطقة المستهدفة.

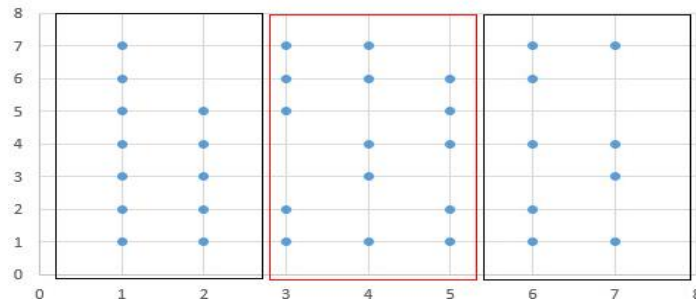
على الرغم من زيادة التكلفة نتيجة لنشر عقد إضافية بمرحلتين فوق النشر الأولي، إلا أن نسبة التطابق بين النشر العشوائي والتوزيع المحدد حققت 81.6326% وهو نسبة أفضل مما كانت عليه في المقارنة مع التوزيع السداسي، وحيث بقينا ضمن حدود التكلفة الموضوعة للمسألة أو عدد العقد الكلي المتاح للمسألة.

إن أحد أهداف الخوارزمية المفروضة هو الوصول لترابط ثنائي بين العقد بأكبر نسبة ممكنة عند أقل عدد من العقد وعند مستوى طاقة للعقد أقل ما يمكن، حيث إن الروابط الثنائية بين العقد حققت نسبة 93.506% وهي نسبة مرتفعة مقارنة بالتوزيع السداسي وكذلك تعتبر نسبة مرتفعة عند نسبة تطابق 81.6326%.

إن القيم نسبية في كلا التوزيعين وهذه النسب توضح لنا احتمالية عمل الشبكة، ولكن بالنتيجة إن التطبيق المراد من الشبكة وكيفية سلوكها هو الذي يحدد أي من المقارنات أفضل.

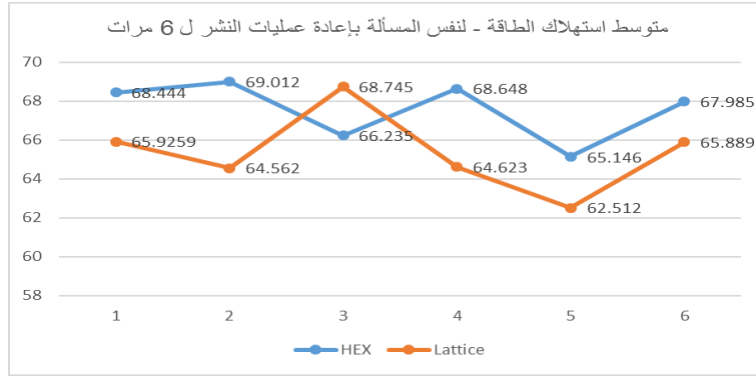
من خلال دراسة نفس المسألة بعد النشر العشوائي الأول، بغض النظر عن نوع التوزيع المحدد الذي سيتم اعتماده لاحقاً من أجل المقارنة، فإن إعادة عمليات النشر في نفس المرحلة يكون مهماً من حيث أماكن إعادة النشر، درست الخوارزمية كثافة الظهور للعقد والفجوات أو المناطق الأضعف تغطية كما وضح بالشكل (11) بحيث إعادة النشر يجب أن يكون في المنطقة الأقل ظهوراً للعقد المحددة، وهذا يسرع من انتهاء دورات الخوارزمية ويقلل من تكلفة عملية النشر. كما يوضح الشكل (14) والشكل (18) حيث في الدورة الثانية عند المقارنة مع التوزيع المحدد الرباعي فإن المنطقة قسمت إلى ثلاثة قطاعات وأعيد النشر في القطاع المتوسط لأنه يحتوي على الثغرات الأكثر.

العقد الظاهرة من التوزيع المربع- النشر الثاني

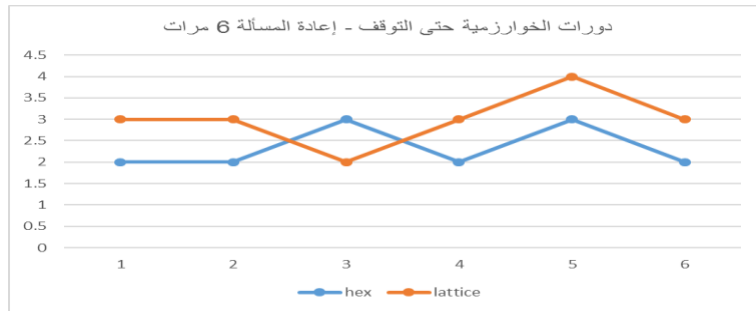


الشكل (18): تقسيم المنطقة قبل عملية إعادة النشر حسب الظهور للعقد في الدورة الثانية وفق التوزيع الرباعي من خلال إعادة نشر عقدة جديدة بشكل عشوائي انطلاقاً من الخطوة الثانية فإننا نحصل على مخطط تغيرات متوسط استهلاك الطاقة لكلا التوزيعين الشكل (19) ودورات الخوارزمية حتى التوقف لكلا التوزيعين الشكل (20) ونسبة التطابق بين النشر العشوائي والتوزيعين المحددين الشكل (21).

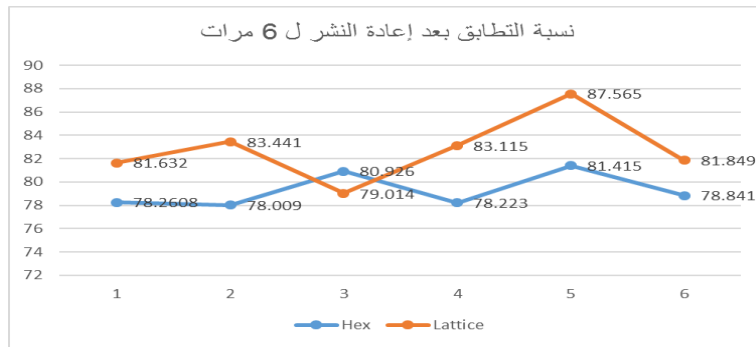




الشكل (19) تغيرات متوسط استهلاك الطاقة لكلا التوزيعين



الشكل (20) دورات الخوارزمية حتى التوقف لكلا التوزيعين



الشكل (21) نسبة التطابق بين النشر العشوائي والتوزيعين المحددين

من خلال الشكل (19) يتبين أن متوسط استهلاك الطاقة نسبة للتوزيع الرباعي أقل، إلا أنه أكثر تكلفة مقارنة مع التوزيع السداسي، حيث يوضح الشكل (20) دورات الخوارزمية حتى التوقف وإن المقارنة مع التوزيع الرباعي تستهلك دورات أكثر للوصول لنهاية الخوارزمية. نلاحظ من الشكل (21) أن نسبة التطابق تتحسن كلما زادت دورات الخوارزمية ولكن على حساب زيادة التكلفة. نلاحظ من الأشكال السابقة أن تطبيق النشر الإضافي في المرحلة الثانية لنفس المسألة عدة مرات عندما وضع في المنطقة الأقل تغطية فإنه أعطى نتائج مختلفة وهذا يتبع لمكان نشر العقد العشوائية ومدى اقترابها من العقد التي لم تظهر في النشر في المرحلة السابقة.

## 9- الخلاصة

مما سبق تبين أن هذا البحث قد أعطى النتائج التالية:

1. تمكنت الخوارزمية من تحديد السويات الطاقية للإرسال للعقد بشكل فعال في كل دورات الخوارزمية عند أدنى مستوى لطاقة الإرسال..
2. استخدام مفهوم التغيير في طاقة الإرسال الذي يتكيف حسب النشر العشوائي مهم من حيث تخفيض متوسط طاقة الإرسال للشبكة ككل.

3. استطاعت الخوارزمية معالجة مشكلة النشر في البيئة القاسية من حيث تحسين النشر لكي لا نخسر العقد المنشورة، وذلك من خلال التغيير في سويات طاقة الإرسال ونشر عقد إضافية.
4. على الرغم من أن عمر الشبكة لم يصل إلى الحد المطلوب إنما حقق نسبة عالية جداً منه، وهو مبدأ أن تعمل الشبكة بالحد الأدنى والذي يعتبر أفضل من خسارتها، وذلك لتجنب التكلفة العالية للشبكة.
5. أبدت الخوارزمية المقترحة ATPLRD أداء جيد وفق الفرضيات المدروسة.
6. حققت الخوارزمية نسبة ترابط ثنائي الاتجاه عالية بين العقد.
7. أبدت الخوارزمية سلوكاً جيداً في البيئة المثالية بدون وجود عوائق تؤثر على انتشار الإشارة للمرسلات، وحيث أعيدت الدراسة بوجود عوائق وأعطت نتائج جيدة [1].
8. تم الوصول لتغطية شاملة لمنطقة الاهتمام Blanket coverage من خلال الخوارزمية المقدمة.

## 10- المقترحات والتوصيات

1. إن الخوارزمية المفروضة تعمل في المستوى الثنائي، وعملياً يجب تطبيقها في المستوى الثلاثي.
2. إن هذه المنهجية بسيطة ويمكن إتباعها لحل مشكلة عدم ملائمة النشر العشوائي للمنطقة المستهدفة.
3. العمل على زيادة نسبة الترابط الثنائي عند أدنى عدد للعقد المنشورة كذلك تخفيض الطاقة لأدنى حد ممكن لتعمل الشبكة بشكل جيد.

## قائمة المراجع.

### أولاً- المراجع بالعربية.

- [1] م.رستناوي.محمد، د.عمران.بسيم، (2021). تحديد العقد الحدودية واتصالها معاً في النشر العشوائي في شبكات الحساسات اللاسلكية، مجلة جامعة البعث، سلسلة العلوم التطبيقية والهندسية والطبية، سوريا، المجلد 43.
- [2] م.رستناوي.محمد، د.عمران.بسيم، (2021). تحديد العقدة الأكثر أهمية والأقل أهمية في النشر العشوائي لشبكات الحساسات اللاسلكية، مجلة جامعة البعث، سلسلة العلوم التطبيقية والهندسية والطبية، سوريا، المجلد 43.

### ثانياً- المراجع بالإنجليزية:

- [3] Ahmed, G., & Khan, N. M. (2016). Adaptive Power-Control Based Energy-Efficient Routing in Wireless Sensor Networks. *Wireless Personal Communications*, 94(3).
- [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] Al-Karaki, J. N., & Gawanmeh, A. (2017). The Optimal Deployment, Coverage, and Connectivity Problems in Wireless Sensor Networks: Revisited. *IEEE Access*.
- [6] 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.

- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Bounceur, A., Bezoui, M., & Euler, R. (2018). *Boundaries and Hulls of Euclidean Graphs: From Theory to Practice* (1st ed.). Chapman and Hall/CRC.
- [10] 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.
- [11] Buchli, B., Sutton, F., & Beutel, J. (2012). *GPS-Equipped Wireless Sensor Network Node for High-Accuracy Positioning Applications*. Lecture Notes in Computer Science.
- [12] Cao, H., Liu, Y., Yue, X., & Zhu, W. (2017). Cloud-Assisted UAV Data Collection for Multiple Emerging Events in Distributed WSNs. *Sensors*, 17(8), 1818.
- [13] Chincoli, M., & Liotta, A. (2018). Self-Learning Power Control in Wireless Sensor Networks. *Sensors*, 18(2), 375.
- [14] Chincoli, M., Syed, A. A., Exarchakos, G., & Liotta, A. (2016). Power Control in Wireless Sensor Networks with Variable Interference. *Mobile Information Systems*.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] CupCarbon Manual
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] Erdelj, M., Król, M., & Natalizio, E. (2017). Wireless Sensor Networks and Multi-UAV systems for natural disaster management. *Computer Networks*, 124, 72–86.
- [21] Gong, J., Chang, T. H., Shen, C., & Chen, X. (2018). Flight Time Minimization of UAV for Data Collection Over Wireless Sensor Networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 36(9), 1942–1954.
- [22] 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*.
- [23] 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.

- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] Lin, S., Miao, F., Zhang, J., Zhou, G., Gu, L., He, T., Stankovic, J. A., Son, S., & Pappas, G. J. (2016). ATPC. *ACM Transactions on Sensor Networks*, 12(1), 1–31.
- [31] Liu, L., Xia, F., Wang, Z., Chen, J., & Sun, Y. (2005). Deployment Issues in Wireless Sensor Networks. *Lecture Notes in Computer Science*, 239–248.
- [32] Martínez-de Dios, J., de San Bernabé, A., Viguria, A., Torres-González, A., & Ollero, A. (2017). Combining Unmanned Aerial Systems and Sensor Networks for Earth Observation. *Remote Sensing*, 9(4), 336.
- [33] 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.
- [34] 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.
- [35] 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).
- [36] Nekrasov, M., Allen, R., Artamonova, I., & Belding, E. (2019). Optimizing 802.15.4 Outdoor IoT Sensor Networks for Aerial Data Collection. *Sensors*, 19(16).
- [37] Panichpapiboon, S., Ferrari, G., & Tonguz, O. (2006). Optimal Transmit Power in Wireless Sensor Networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 5(10).
- [38] Patra, S., & Sau, B. (2016). Detecting Hole Boundary Nodes in WSN under Distributed Environment. *2016 IEEE 6th International Conference on Advanced Computing (IACC)*. Published.
- [38] Popescu, Stoican, Stamatescu, Chenaru, & Ichim. (2019). A Survey of Collaborative UAV–WSN Systems for Efficient Monitoring. *Sensors*, 19(21), 4690.

- [39] 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.
- [40] 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.
- [41] Rafiei, A., Abolhasan, M., Franklin, D., & Safaei, F. (2011). Boundary node selection algorithms in WSNs. 2011 IEEE 36th Conference on Local Computer Networks. Published.
- [42] Saad, E., Elhosseini, M., & Haikal, A. Y. (2018). Recent achievements in sensor localization algorithms. *Alexandria Engineering Journal*, 57(4), 4219–4228.
- [43] 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*.
- [44] 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
- [45] Sharma, V., You, I., & Kumar, R. (2016). Energy Efficient Data Dissemination in Multi-UAV Coordinated Wireless Sensor Networks. *Mobile Information Systems*.
- [46] 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.
- [47] 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.
- [48] 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.
- [49] 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. Zobia, K. Sherpa, A. Bhoi (Eds.) *Advances in smart grid and renewable energy. Lecture notes in electrical engineering* (pp. 683–694). Singapore: Springer.
- [50] Yick, J., Mukherjee, B., & Ghosal, D. (2008). Wireless sensor network survey. *Computer Networks*, 52(12), 2292–2330.
- [51] Yunxia Chen, & Qing Zhao. (2005). On the lifetime of wireless sensor networks. *IEEE Communications Letters*, 9(11), 976–978.
- [52] 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.
- [53] 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.