

مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية
والكهربائية والمعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 43 . العدد 30

1442 هـ - 2021 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير	أ. د. ناصر سعد الدين
رئيس التحرير	أ. د. درغام سلوم

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث

بشرى مصطفى

عضو هيئة التحرير	د. محمد هلال
عضو هيئة التحرير	د. فهد شريباتي
عضو هيئة التحرير	د. معن سلامة
عضو هيئة التحرير	د. جمال العلي
عضو هيئة التحرير	د. عباد كاسوحة
عضو هيئة التحرير	د. محمود عامر
عضو هيئة التحرير	د. أحمد الحسن
عضو هيئة التحرير	د. سونيا عطية
عضو هيئة التحرير	د. ريم ديب
عضو هيئة التحرير	د. حسن مشرقي
عضو هيئة التحرير	د. هيثم حسن
عضو هيئة التحرير	د. نزار عبشي

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

سورية . حمص . جامعة البعث . الإدارة المركزية . ص . ب (77)

. هاتف / فاكس : 963 31 2138071 ++

. موقع الإنترنت : www.albaath-univ.edu.sy

. البريد الإلكتروني : [magazine@ albaath-univ.edu.sy](mailto:magazine@albaath-univ.edu.sy)

ISSN: 1022-467X

قيمة العدد الواحد : 100 ل.س داخل القطر العربي السوري

25 دولاراً أمريكياً خارج القطر العربي السوري

قيمة الاشتراك السنوي : 1000 ل.س للعموم

500 ل.س لأعضاء الهيئة التدريسية والطلاب

250 دولاراً أمريكياً خارج القطر العربي السوري

توجه الطلبات الخاصة بالاشتراك في المجلة إلى العنوان المبين أعلاه.
يرسل المبلغ المطلوب من خارج القطر بالدولارات الأمريكية بموجب شيكات

باسم جامعة البعث.

تضاف نسبة 50% إذا كان الاشتراك أكثر من نسخة.

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
 - طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
 - إذا كان الباحث طالب دراسات عليا:
يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقة على النشر في المجلة.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:
يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث :
يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله حتى تاريخه.
 - إذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :
يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث ، وما يثبت صفته وأنه على رأس عمله.
 - يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية):
عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1- مقدمة
 - 2- هدف البحث
 - 3- مواد وطرق البحث
 - 4- النتائج ومناقشتها .
 - 5- الاستنتاجات والتوصيات .
 - 6- المراجع.

- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (الآداب - الاقتصاد - التربية - الحقوق - السياحة - التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):
- عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1. مقدمة.
- 2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
- 3. أهداف البحث و أسئلته.
- 4. فرضيات البحث و حدوده.
- 5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
- 6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
- 7. منهج البحث و إجراءاته.
- 8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
- 9. نتائج البحث.
- 10. مقترحات البحث إن وجدت.
- 11. قائمة المصادر والمراجع.
- 7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:
 - أ- قياس الورق 25×17.5 B5.
 - ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 - يمين 2.5- يسار 2.5 سم
 - ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8
 - ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20
- . كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي . العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.
- ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.
- 8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- 9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.
- 10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام وورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:
آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة . الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة . سنة النشر . وتتبعها معترضة (-) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة . دار النشر وتتبعها فاصلة . الطبعة (ثانية . ثالثة) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة .
وفيما يلي مثال على ذلك:

-MAVRODEANUS, R1986- Flame Spectroscopy. Willy, New York, 373p.

ب . إذا كان المرجع بحثاً منشوراً في مجلة باللغة الأجنبية:

. بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة، اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة . المجلد والعدد (كتابة مختزلة) وبعدها فاصلة . أرقام الصفحات الخاصة بالبحث ضمن المجلة.
مثال على ذلك:

BUSSE,E 1980 Organic Brain Diseases Clinical Psychiatry News ,
Vol. 4. 20 – 60

ج . إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و
التقيد

بالبنود (أ و ب) ويكتب في نهاية المراجع العربية: (المراجع In Arabic)

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

1. دفع رسم نشر (20000) ل.س عشرون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (50000) ل.س خمسون ألف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (3000) ل.س ثلاثة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
46-11	محمد رستناوي د. بسيم عمران	تحديد العقدة الأكثر أهمية والأقل أهمية في النشر العشوائي لشبكات الحساسات اللاسلكية
78- 51	محمد رستناوي د. بسيم عمران	تحديد العقد الحدودية واتصالها معاً في النشر العشوائي في شبكات الحساسات اللاسلكية
122-99	ميس محمد د. فريز عبود د. محمد الحريري	دراسة طرائق لتصميم دارات مواعمة عريضة المجال لمكبرات الاستطاعة المستخدمة في تطبيقات الأمواج المترية والديسيمترية
140-123	د. م. ايلي خليل	دراسة تحسين الوصول العشوائي في بروتوكول <i>IEEE802.11 ad</i> لملائمة زيادة عدد المستخدمين في تطبيقات انترنت الأشياء

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 إنهاء 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].

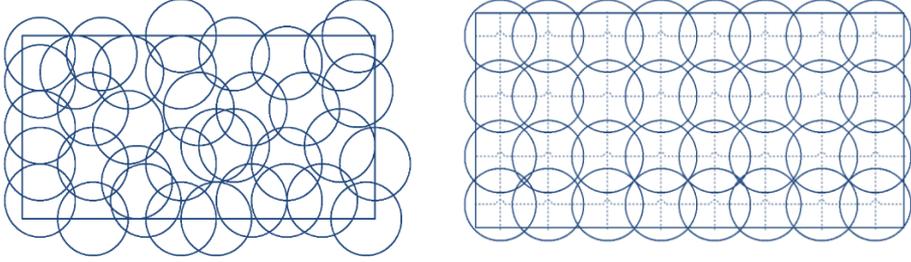
5- النشر العشوائي والمحدد لشبكات الحساسات اللاسلكية

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 الأمانة 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 Transmasion 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 وطاقة البث الموافقة و متوسط المسافة بينالجوار عند كل سوية طاقة ومواقع العقد). بعد وصول المعلومات الخاصة بكل عقدة إلى عقدة تجميع البيانات تقوم الخوارزمية بتحديد طاقة الإرسال التي ستعمل عندها كل عقدة بحيث تحقق أفضل تغطية مع أدنى طاقة للعقدة نفسها وتحقق أفضل اتصال ثنائي الإتجاه بينها وبين العقد المجاورة.

تقوم 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 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 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.

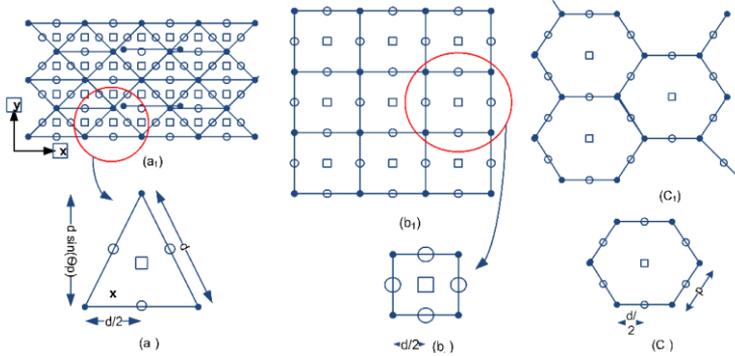
في النتيجة ستعمل العقد بطاقات إرسال مختلفة وبالتالي يمكن أن تخرج العقد التي تعمل بطاقات إرسال أكبر من غيرها بفترة زمنية أقل، وفي هذه الحالة ستقوم البالوعة بإعادة تشغيل الشبكة ببارامترات جديدة ويستمر عمل الشبكة بشكل سليم ومقبول مع فقدان بعض العقد والتي تعتبر ذات أهمية قليلة، أما عند فقدان عقدة ذات أهمية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

في هذا العمل 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 إرسال 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 إرسال 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

عملية نشر عشوائي وتتم المقارنة بين النشر العشوائي والتوزيع المحدد من حيث المواضيع وحساب نسبة الانحراف 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].

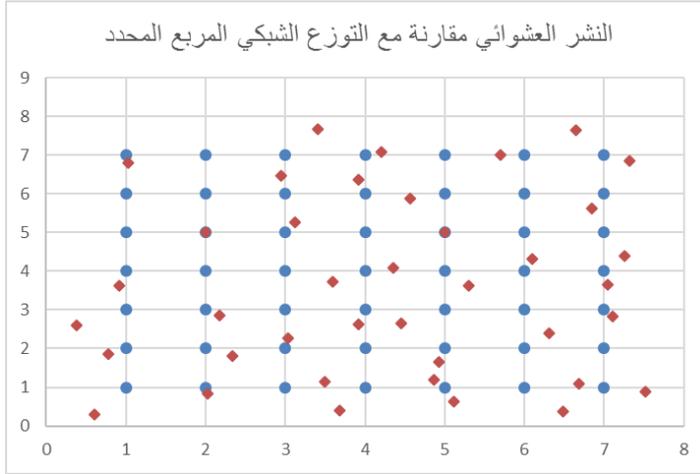
إن الخوارزمية المقترحة تقسم العقد إلى قسمين هما "العقد الأولية" و "العقد الاحتياطية أو عقد التعويض"، تستخدم العقد الأولية في أول نشر عشوائي حسب تحديدها من قبل التوزيع المحدد وتقرن مواضعها بالنسبة للتوزيع المحدد في المنطقة المستهدفة، أما العقد الاحتياطية تستخدم من أجل الترميم في مراحل النشر التالي فوق 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

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 لايؤثر 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 ويتطلب ذلك نوع مرسل يتضمن هذه الميزة، ويوجد مرسلات 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.

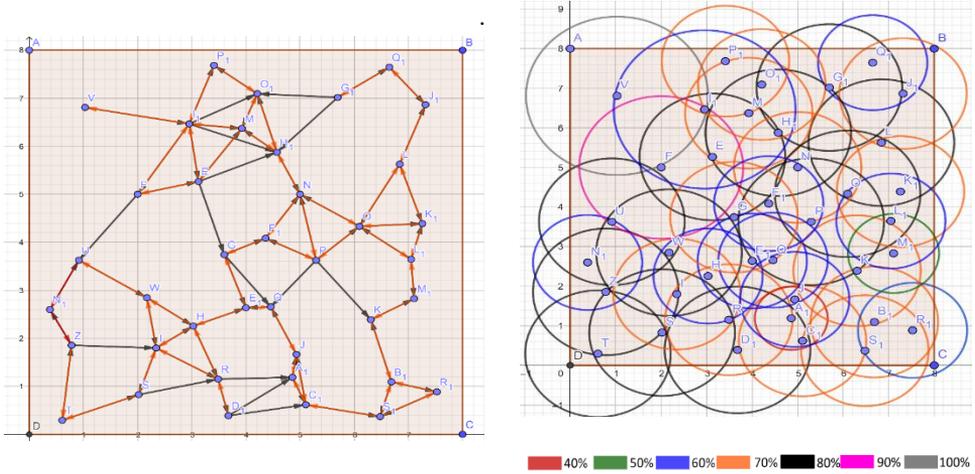
الجدول 2: جدول ظهور الجوار للعقد العشوائية عند سويات الطاقة المختلفة في الدورة الأولى للخوارزمية

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

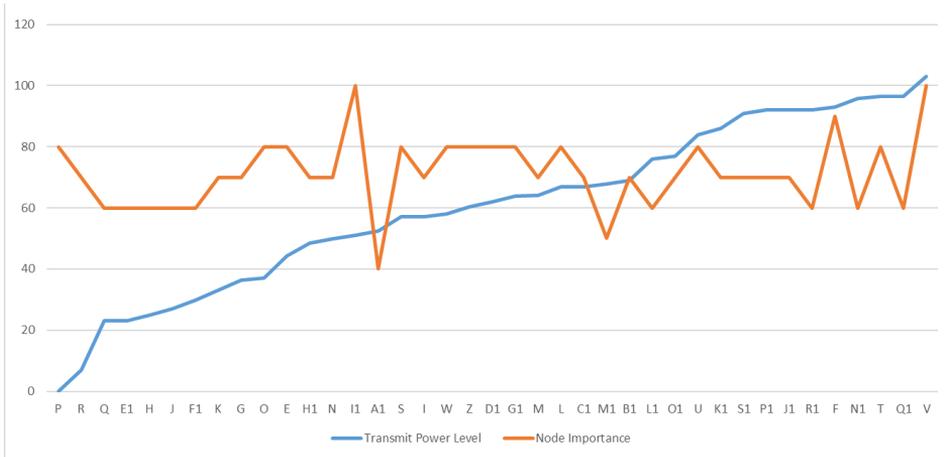
العقد العشوائية وفق الجدول 3. **تزداد الأهمية للعقدة كلما انخفض قيمة معامل الأهمية.**

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

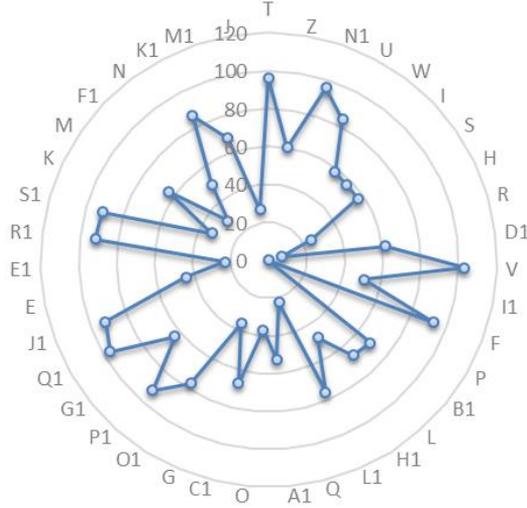
20	A1	52.375	40
7	S	57	80
6	I	57	70
5	W	58	80
2	Z	60.375	80
10	D1	62	80
26	G1	63.875	80
34	M	64	70
16	L	67	80
22	C1	67	70
38	M1	67.875	50
15	B1	69	70
18	L1	75.875	60
24	O1	77	70
4	U	83.875	80
37	K1	86	70
32	S1	91	70
25	P1	92	70
28	J1	92	70
31	R1	92	60
13	F	93	90
3	N1	95.875	60
1	T	96.375	80
27	Q1	96.375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

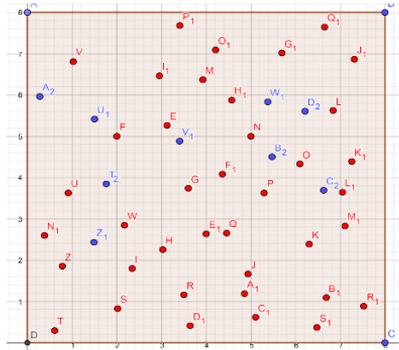
يتبين من الشكل 7 أن العقد التي يتقارب فيها المنحنين فإنها تمثل عقد لا تؤثر على الشبكة، وكلما زادت المسافة فإن العقدة تكون أكثر أهمية لعمل الشبكة وخروجها يؤثر على عمر الشبكة، أما العقد التي يتقارب فيها المنحنين هي عقد لا يؤثر خروجها على عمل الشبكة ككل. بالنظر للشكل 7 الذي يبين العقد الأقل أهمية وهي العقد 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.

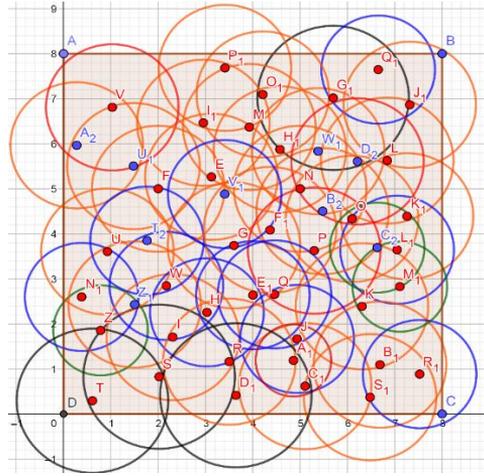
نتنقل إلى المرحلة الثانية في الخوارزمية وحيث وجب النشر فوق النشر الأولي لتحسين النشر الأولي، بحيث ننشر 9 عقد جديدة (توجد إجرائية خاصة في الخوارزمية لتحديد عدد العقد) في حال اعتمد التوزيع المحدد الرباعي كما يتوضح في الشكل 9.



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 .

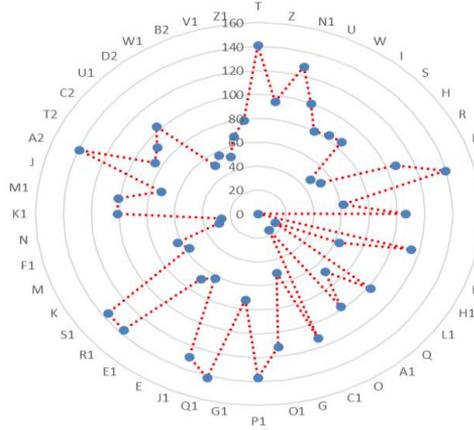
عدد المسارات الأحادية = 17 = النسبة 10.179%، عدد الثنائية = 75 = النسبة 89.820%



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

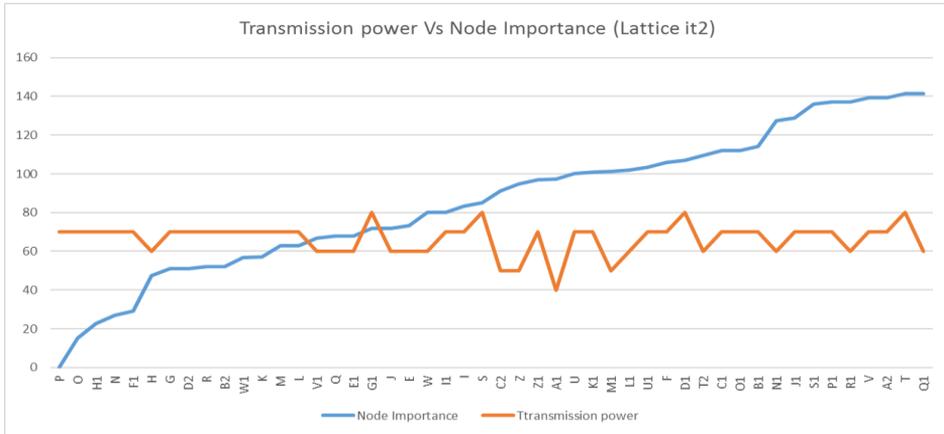
اعتماد التوزيع الرباعي

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 والانتهاج من عمليات النشر.



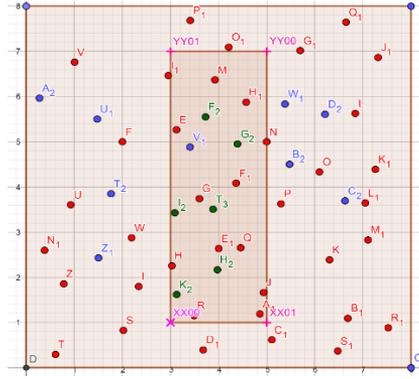
الشكل 11: توضيح العقدة الأكثر أهمية والعقد الحدودية في المنطقة المستهدفة في النشر الثاني عند اعتماد التوزع المنتظم الرباعي.

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 التوزع المحدد الرباعي كما يتوضح في الشكل 13.

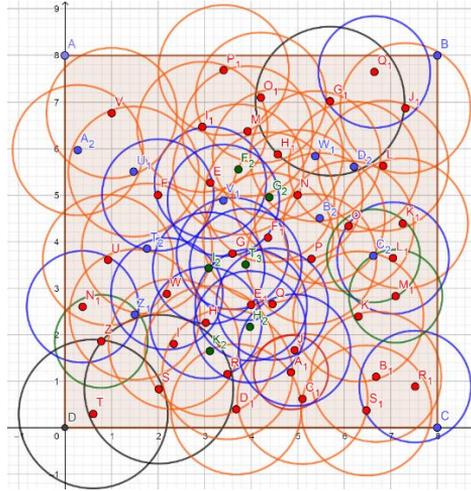


الشكل 13: نشر 6 عقد جديدة في المرحلة الثالثة من النشر العشوائي

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%

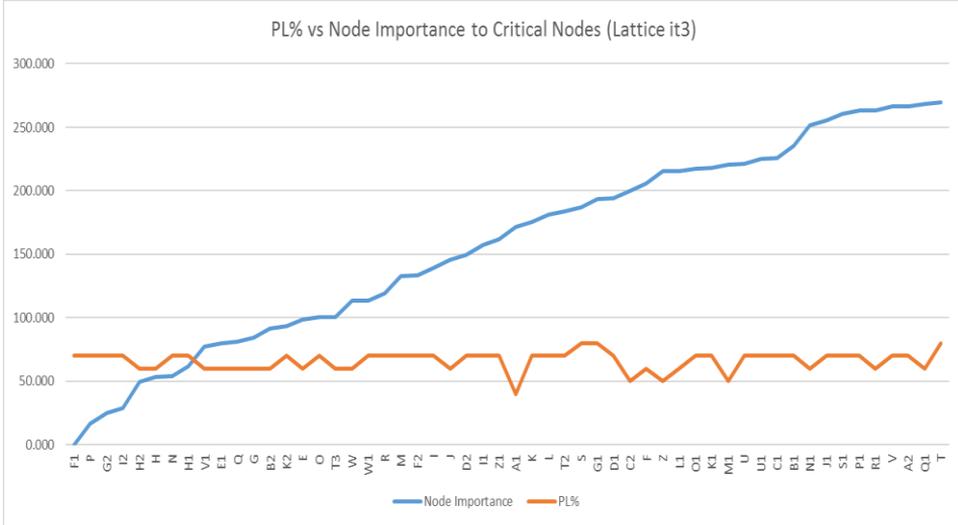


40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%

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

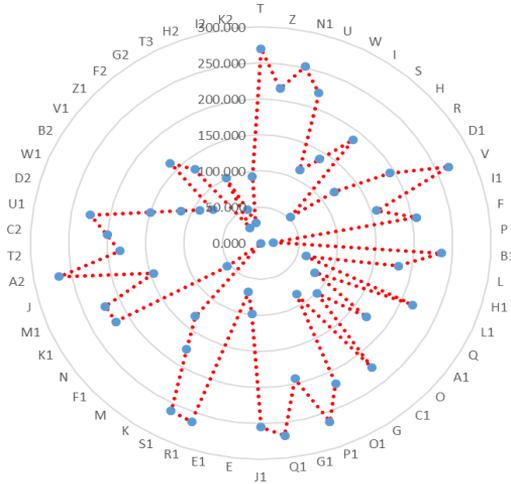
العقدة بحيث جميع العقد التي تقع تحت منحنى السويات الطاقة تكون عقد حرجة وخروجها يؤثر على عمل الشبكة ككل. كما يوضح الشكل 15.



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% يكفي 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 بث 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 نخسر 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.

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

المهندس محمد رستناوي

الدكتور بسيم عمران

مهندس في قسم التحكم الآلي والحواسيب

أستاذ مساعد في قسم هندسة التحكم الآلي والحواسيب

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة البعث

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة البعث

ملخص البحث

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

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

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

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

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

الكلمات المفتاحية:

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

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

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

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

Abstract

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

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

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

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

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

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

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

1- مقدمة

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

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

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

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

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

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

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

2-هدف مشروع البحث

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

3- أهمية البحث

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

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

4- مواد وطرائق البحث

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

5- النشر العشوائي والمحدد لشبكات الحساسات اللاسلكية

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

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

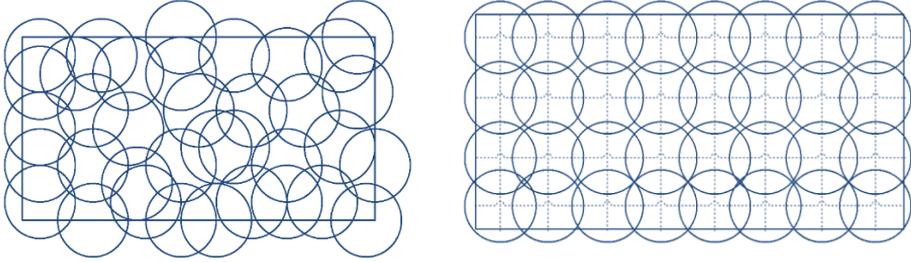
يتم التعامل مع النشر المحدد للحساسات في البيئة الأمنة أو الودية friendly environments [2]. يتم تخفيض التكلفة بشكل كبير لأن نشر العقد يتم يدوياً ويستخدم عدد أقل من عقد الاستشعار [3،16،4].

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

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

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

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



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

6-دراسات مرجعية

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

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

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

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

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

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

7.1. توصيف الخوارزمية

يتلخص عمل الخوارزمية المقترحة في مرحلتين هما:

مرحلة النشر والتهيئة:

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

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

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

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

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

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

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

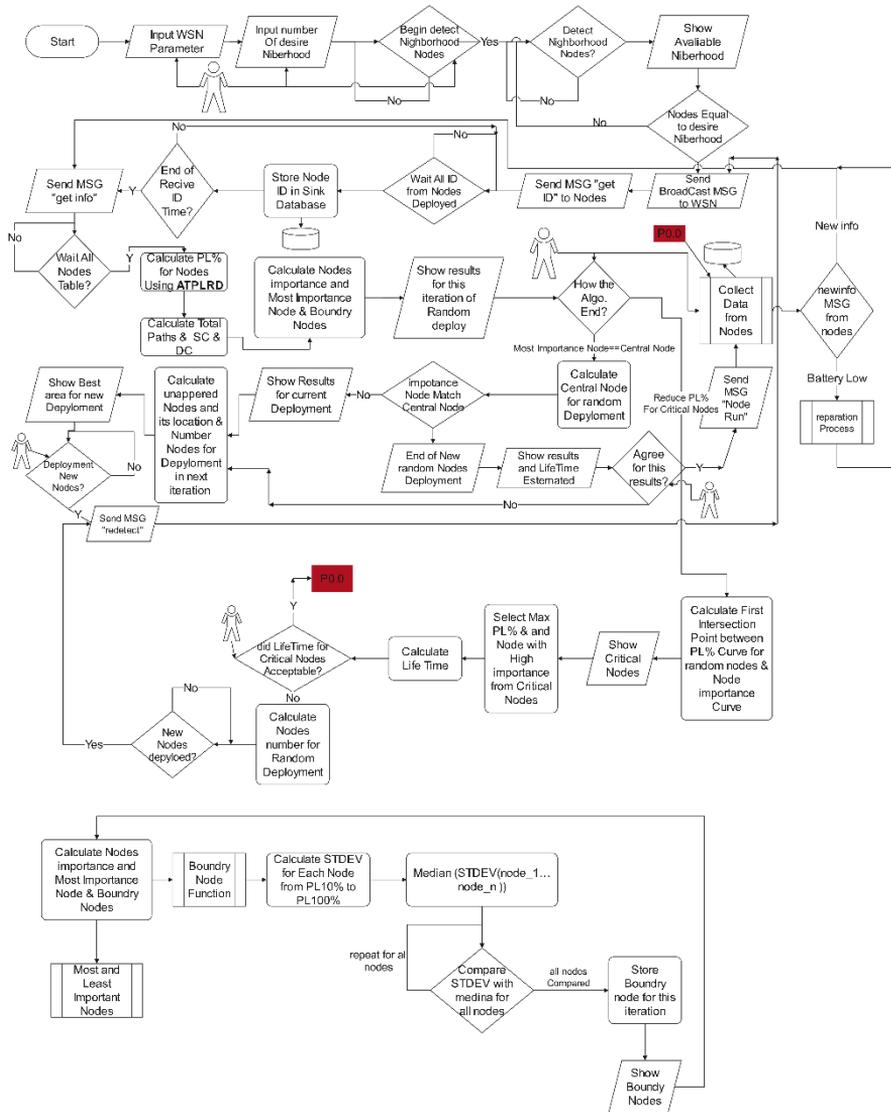
مرحلة التشغيل:

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

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

في النتيجة ستعمل العقد بطاقات إرسال مختلفة وبالتالي يمكن أن تخرج العقد التي تعمل بطاقات إرسال أكبر من غيرها بفترة زمنية أقل، وفي هذه الحالة ستقوم عقدة تجميع البيانات بإعادة تشغيل الشبكة 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 الكلفة للشبكة. من الممكن أن تعمل عقدة ما بطاقة ارسال كبيرة لتؤمن عملية الربط مع عقد الجوار حسب التحليل الذي تم في عقدة تجميع البيانات، هذا يؤدي إلى استهلاك الطاقة بشكل أسرع والذي ينقص عمر الشبكة ككل، ولكن في دورات الخوارزمية اللاحقة ومن خلال النشر الإضافي يمكن أن تحسن عملية الإتصال والذي يؤدي لتخفيض الطاقة لهذه العقدة وبالتالي إطالة عمر الشبكة. أو من خلال ارسال عقدة تعويض لمكان العقدة التي خرجت من الشبكة والتي يؤدي إلى استمرارية العمل في الشبكة لوقت أطول. يلخص عمل خوارزمية عقدة تجميع البيانات من دون خوارزمية العقد بالشكل 2، وتم تبيان خوارزمية العقد في بحث آخر.



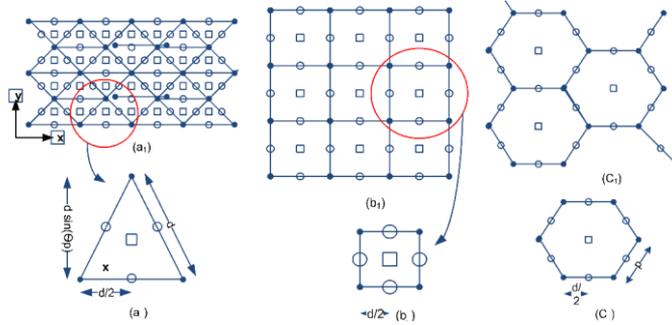
الشكل 2: خوارزمية عقدة تجميع البيانات وفق الخوارزمية المقترحة

7.2. بناء وتطبيق الخوارزمية

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

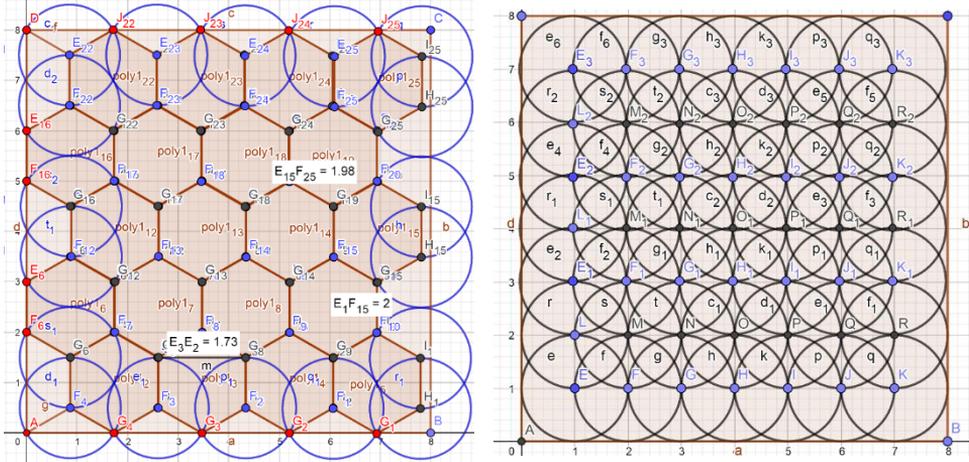
بعد حساب طاقة البث الجديدة التي تحقق زمن التشغيل لعمر الشبكة المطلوب وحساب المسافة الموافقة عندها للعقدة فإننا نطبق المعادلة (1) لحساب عدد العقد من جديد:

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

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

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

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

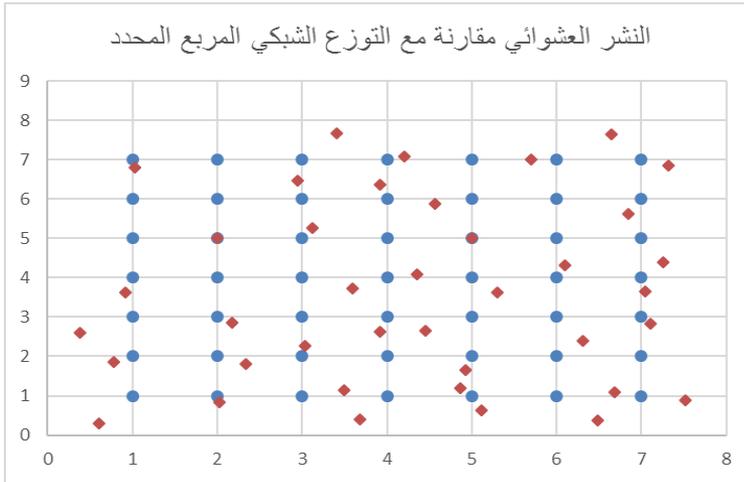


الشكل 4: توزيع العقد 49 وفق التوزيع المربع من اليمين، و 46 عقدة وفق التوزيع السداسي من اليسار. في الواقع بعد نشر العقد عشوائياً ينتج السؤال الأهم، هل هذه العقد التي ذات نطاق ارسال محدد والتي تحقق التغطية الكاملة للمساحة المستهدفة هي مناسبة عند نفس الطاقة في حالة النشر العشوائي للعقد؟ كما سيتبين لاحقاً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

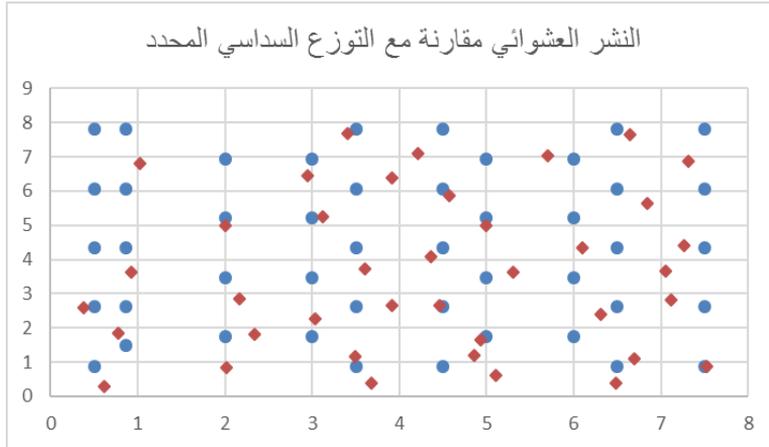
بفرض أن العقد التي ستوزع في الحالة المحددة ذات التوزيع الشبكي المربع تأخذ المواقع التالية من المنطقة المستهدفة، وحيث هذه العقد لها مواقع محددة ضمن مساحة العمل. تستخدم مواقع العقد المحددة وفق التوزيع الشبكي الأولي لمقارنة العقد الموزعة عشوائياً ومدى اقترابها من التوزيع المحدد، وتحدد هذه النسبة مدى الانحراف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

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

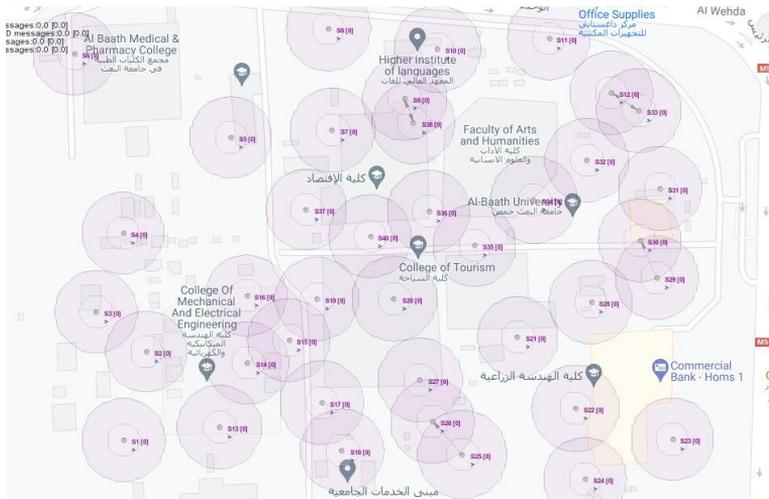
- عند النشر تعطلت مجموعة عقد (وليكن عددها 8) بسبب السقوط أو بسبب أعطال فنية، وهي حالة فرضية في المسألة لتبيان الحالة الأسوأ في النشر العشوائي.
 - خروج أحد العقد من المنطقة المستهدفة وإبتعادها عن مجال العقد المنشورة.
- هذه مجموعة من الفرضيات فقط لتغطية الحالات التي من الممكن أن يمر بها النشر العشوائي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



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



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

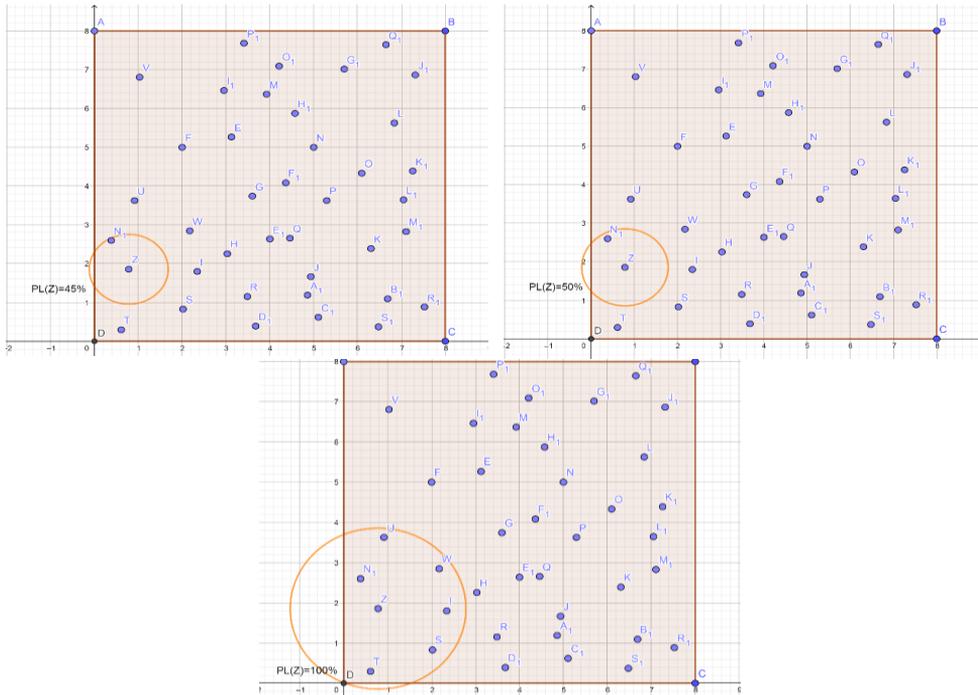


الشكل 7: النشر العشوائي للمسألة المدروسة ضمن جامعة البعث على بيئة المحاكاة cupcarbon

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

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

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



الشكل 8: التغيير في سوية طاقة الإرسال بالنسبة للعقدة Z

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

INT: العدد الصحيح لقيمة المتوسط الناتج.

MIN_PL%: السوية الطاقية الأدنى التي تعطي ظهور للجوار.

MAX_PL%: السوية الطاقية الأعلى للعقدة.

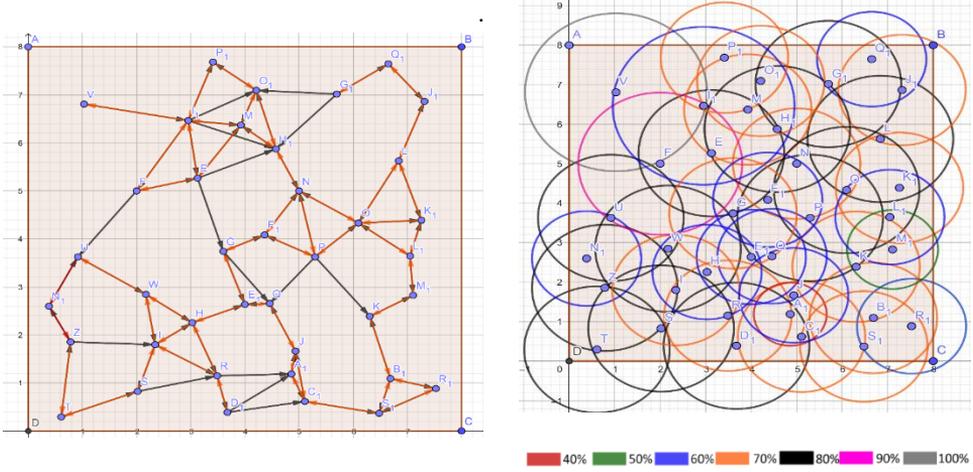
الجدول 2: جدول ظهور الجوار للعقد العشوائية عند سويات الطاقة المختلفة في الدورة الأولى للخوارزمية

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

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

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

مخطط بياني موجه. كما يوضح الشكل 9-ب .



الشكل 9-أ و 9-ب: السويات الطاقية للعقد في النشر الأول بعد تحديدها من قبل عقدة تجميع البيانات، مخطط الاتصالات النهائي للعقد العشوائية في الدورة الأولى للخوارزمية

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

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

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

حيث:

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

Median: تمثل الوسط لظهورات العقدة عند السويات الطاقية.

Node_j: العقدة الذي ينظر بظهوراتها بالنسبة للعقد الأخرى.

n_i: جميع العقد المنشورة عشوائيا في الدورة الحالية للخوارزمية.

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

عدد المسارات أحادية الإتجاه = 15 = النسبة 12.605%

عدد المسارات الثنائية = 52 = النسبة 87.394%

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

7.3. نتائج البحث (العقد الحدودية والمتغير α)

7.3.1. العقد الحدودية

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

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

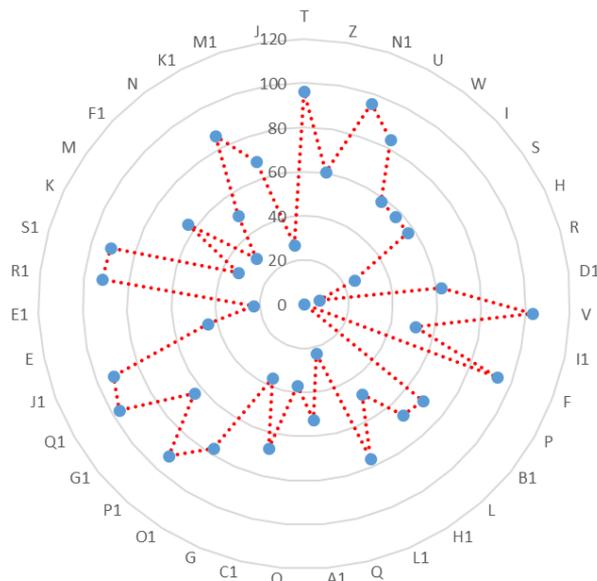
بالنظر إلى الجدول 5 الذي يعطي ظهورات جوار العقدة لكل العقد عند سويات الطاقة كافة، ومن خلال حساب الانحراف المعياري (مقدار التباين مقارنة بمتوسط الظهورات) Standard Deviation من أجل كل عقدة وفق الجدول 3، يمكن رسم مخطط radar الذي يعطي العقدة الأكثر أهمية والعقد الأقل بالنسبة للشبكة، والذي يوضح هذه العقد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

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

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

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

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



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

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

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

$$\vdots$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

وحيث:

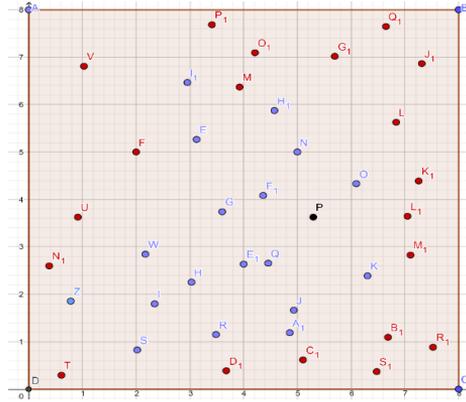
i - يمثل دليل جميع العقد التي تحقق انحرافها المعياري أقل من الوسط لجميع الانحرافات المعيارية لكل العقد.

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

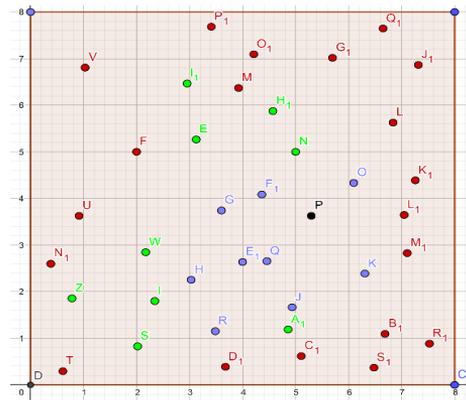
$$Median(STDEV(node_1 \dots node_n)) = 2.287875652$$

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

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

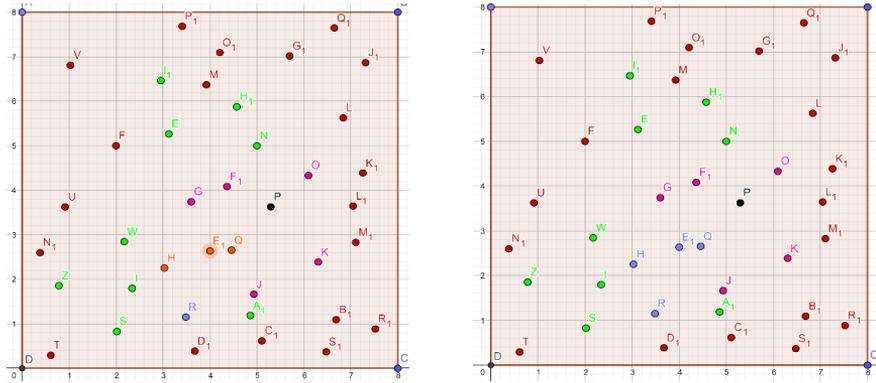


الشكل 11: عقد الحدود المحددة من قبل الخوارزمية والعقدة المركزية في النشر العشوائي الأول من خلال حساب الانحراف المعياري تم تحديد عقد الحدود للنشر العشوائي، من خلال تطبيق المتوسط على الانحرافات المعيارية للعقد التي ليست حدودية من جديد فإننا نحصل على العقد التي تكون في سوية أقرب من المركز والتي تكون بمستوى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



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

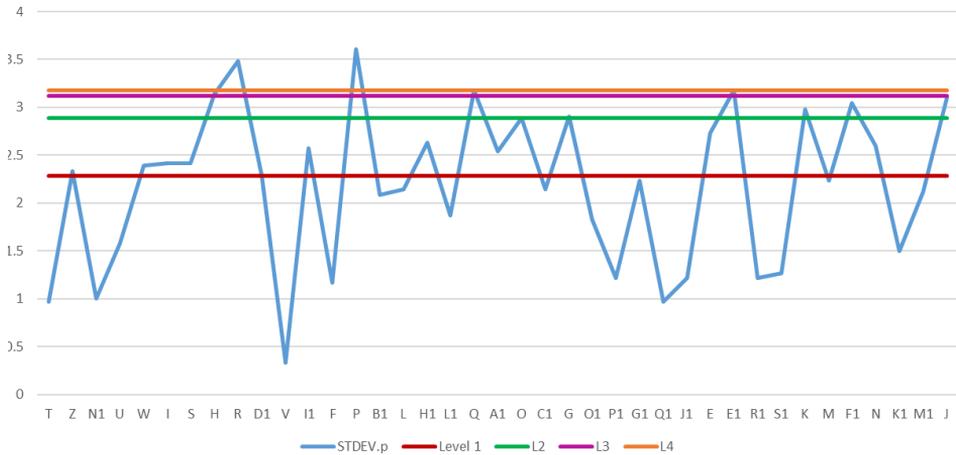
نعيد الحسابات لتحديد المستوى الثالث والرابع للعقد الأقرب إلى المركز من خلال تطبيق الإجراءات السابقة والمبينة في الشكل 13.



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

الخوارزمية والعقدة المركزية في النشر العشوائي الأول

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



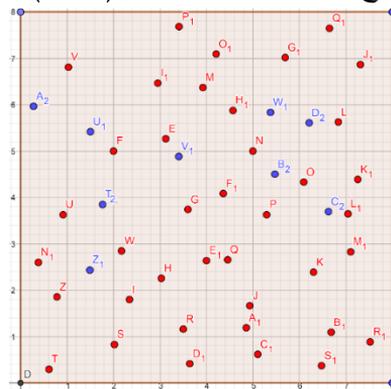
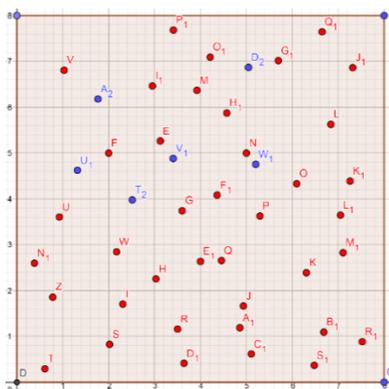
الشكل 14: السويات الأربع لعقد المنشورة عشوائياً في النشر الأولي ومواقع العقد نسبة لها

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

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

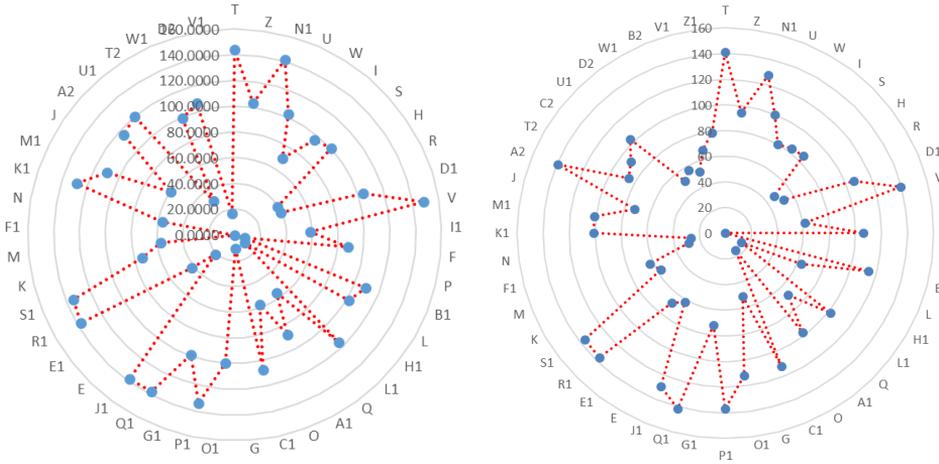
في الحقيقة إن الخوارزمية عند حكمها على جودة النشر وتفحص النشر يتبين أننا بحاجة لنشر جديد فوق النشر الأولي للمسألة المدروسة، لانتطرق في هذا البحث لشرح الآلية المتبعة من قبل الباحث في الخوارزمية لكيفية إجراء عمليات النشر، إنما فقط نبين تحديد العقد الحدودية وتقسيم العقد المنشورة إلى سويات متعددة في دورات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

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



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

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



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

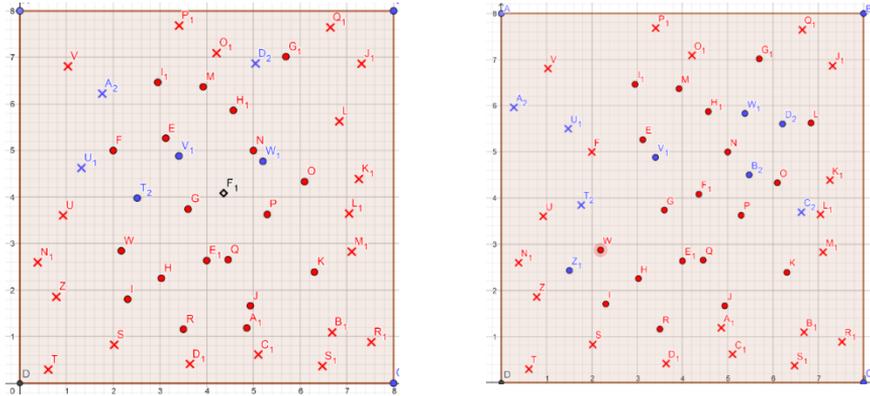
Node	STDEV.p	Node	STDEV.p	Node	STDEV.p
T	0.9682	L1	2.4206	K1	2.4463
Z	2.5981	A1	2.5372	M1	2.4367
N1	1.6394	C1	2.1469	A2	1.0897
U	2.4717	O1	2.1469	T2	2.2220
S	2.8256	P1	1.2183	C2	2.6810
D1	2.2879	Q1	0.9682	U1	2.3848
V	1.0897	J1	1.5762		
F	2.3150	R1	1.2183		
B1	2.0879	S1	1.2686		

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

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

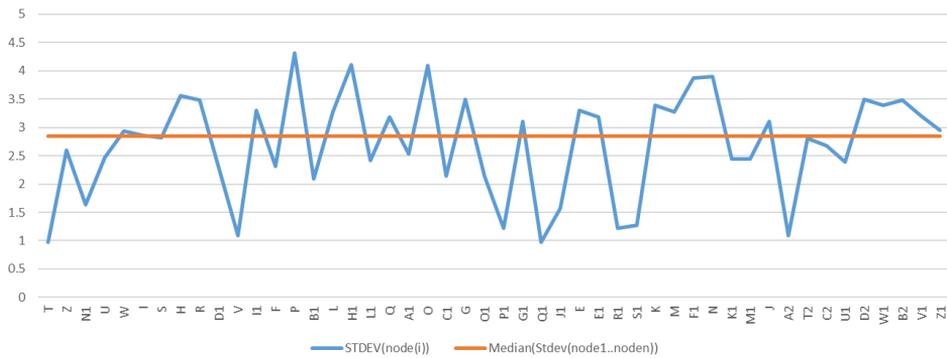
تحديد العقد الحدودية واتصالها معاً في النشر العشوائي في شبكات الحساسات اللاسلكية

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

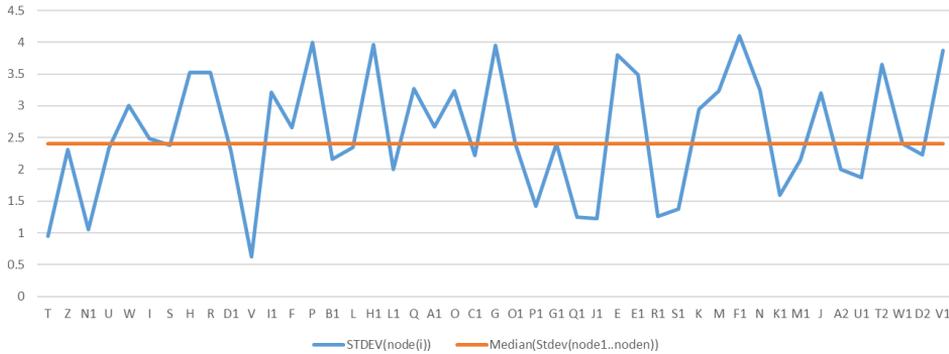


الشكل 17: العقد الحدودية لكلا المسألتين في الدورة الثانية، على اليمين في حال اعتمد التوزيع المحدد الرباعي، واليسار في حال اعتمد التوزيع المحدد السداسي

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



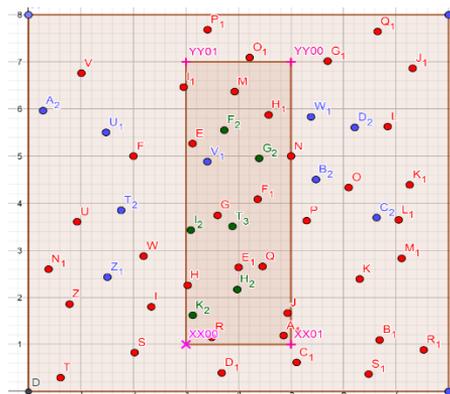
الشكل 18: العقد الحدودية وفق التوزيع الرباعي المحدد في الدورة الثانية



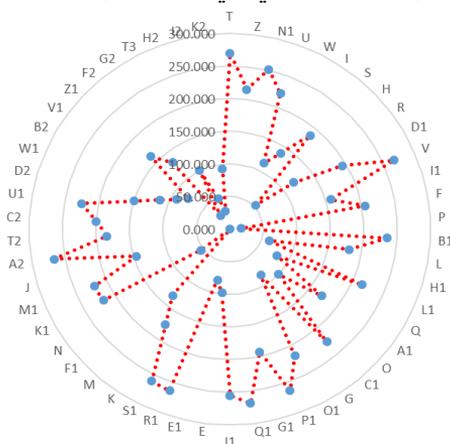
الشكل 19: العقد الحدودية وفق التوزيع السداسي المحدد في الدورة الثانية

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

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



الشكل 20: العقد العشوائية المنشورة في التكرار الثالث للخوارزمية عند اعتماد التوزيع المحدد الرباعي من خلال دراسة قيمة الانحراف للقيم الناتجة عن تغيرات جوار العقد حسب السوية الطاقية يتبين الشكل 21 الذي يوضح أهمية العقد في المنطقة المستهدفة بناء على تغيرات الجوار في الدورة الثالثة وفقاً للتوزيع المحدد المربع فقط، حيث إن المسألة المدروسة في حالة التوزيع المحدد السداسي إنتهت في الدورة الثانية، أما المسألة وفق التوزيع المحدد الرباعي فإنها استمرت للدورة الثالثة وتنتهي في هذه الدورة.

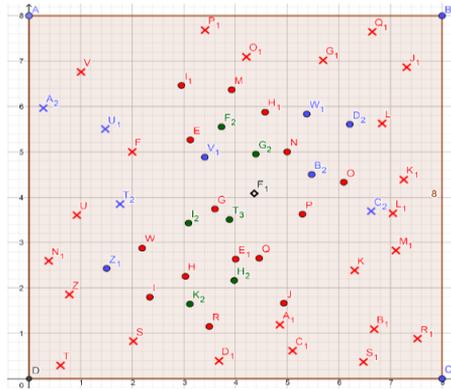


الشكل 21: توضيح العقدة الأكثر أهمية والعقد الحدودية في المنطقة المستهدفة في النشر الثالث عند اعتماد التوزيع المحدد الرباعي.

بعد دراسة تغيرات الانحراف المعياري للعقد وبأخذ الوسط Median لمجموعة الانحرافات المعيارية فإن قيمة الوسط هي (3.50755119) بعد النشر العشوائي الثالث. والعقد المحققة للشروط العقد الحدودية مبينة في الجدول 7 والشكل 22 للدورة الثالثة للخوارزمية.

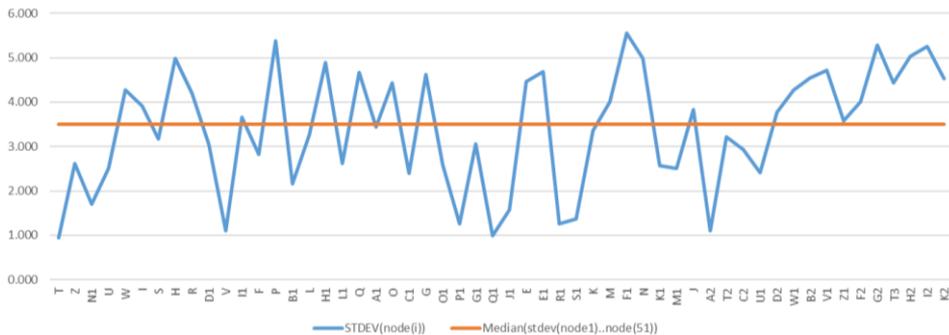
الجدول 7: العقد التي حددت كعقد حدودية في الخوارزمية في الدورة الثالثة وفق التوزيع الرباعي

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



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

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



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

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

7.3.2. المتغير α

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

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

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

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

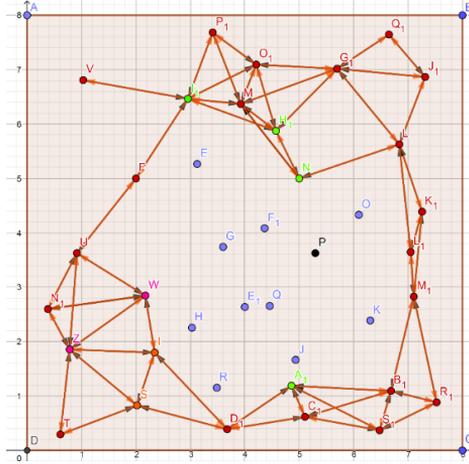
من خلال الشكل 13 يتبين أن كثافة العقد في حدود الشبكة قليلة وهذا يجعل من الصعب على العقد الاتصال مع بعضها ضمن محيط الشبكة فقط، ولكن يمكن زيادة كثافة الحدود للشبكة من خلال المتغير α و إضافته إلى الوسط الذي يزيد من كثافة الحدود، حيث الوسط الجديد الذي يحدد العقد الحدودية مساوي إلى:

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

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

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

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



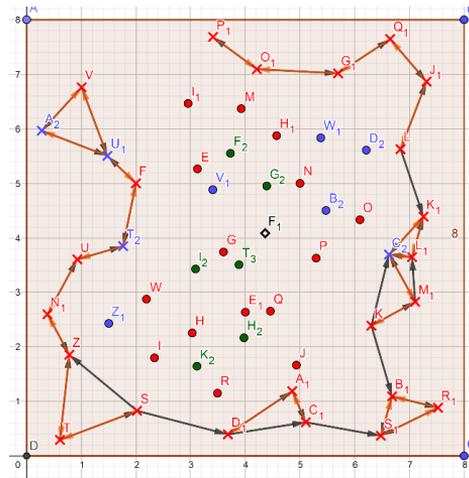
الشكل 26: العقد الحدودية في الدورة الأولى في حال اعتمد التوزيع المحدد الرباعي بإضافة قيمة 3α واتصال العقد الحدودية مع بعضها.

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

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

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

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



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

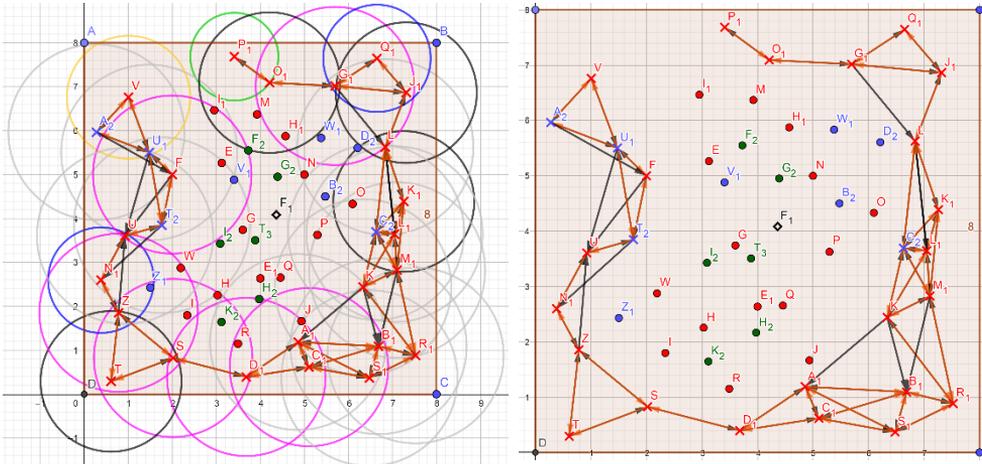
اقترح الباحث حلين لحل هذه المشكلة، أولاً من خلال زيادة طاقة البث للعقد الحدودية وهو موضوع البحث الأساسي إلى سوية الطاقة العظمى التي بعدها لاكتشف العقد الحدودية

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

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

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

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



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

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

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

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

9- خلاصة الدراسة البحثية

مما سبق تبين أن هذا البحث قد أعطى النتيجة التالية:

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

4- إن الطريقة المتبعة في تحديد الحدود مركزية.

5- إن التعقيد الحسابي بسيط من خوارزمية كشف الحدود.

10- المقترحات والتوصيات

المقترحات والتوصيات التالية:

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

المراجع References

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

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

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

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

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

International Conference on Future Networks and Distributed Systems. Published.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

دراسة طرائق لتصميم دارات مواعمة عريضة المجال لمكبرات الاستطاعة المستخدمة في تطبيقات الأمواج المتريية والديسبمتريية *

المهندسة ميس محمد **

الدكتور محمد
الحريري***

الدكتور فريز عبود***

الكلمات المفتاحية: المجال الترددي العريض ، دارات المواعمة، محول الممانعة، مكبرات الاستطاعة

الملخص

يعرض هذه البحث تصميم دارات مواعمة عريضة الحزمة انطلاقاً من عدة نماذج تمت دراستها، وتصميمها وإجراء بعض المقارنات بينها بالنسبة للحزمة الترددية، ونسبة تحويل الممانعة، حيث تم التركيز على تصميم نوعين من المحولات التي تحقق مجال ترددي عريض ألا وهي: المحولات المترابطة والمحولات الفريتيية، و اختيار النموذج الأنسب لتطبيقها على مكبرات الاستطاعة لتعمل على مجال عريض أكثر من أوكثاف مع الحفاظ على معامل VSWR والحصول على أعظم استطاعة، حيث تم في تطبيق المحولات الفريتيية نموذج Guanella كمحول ممانعة 1:4 بالإضافة الى نموذج Ruthroff بشكل Balun محول 1:1 لمواعمة ممانعة دخل وخرج الترانزستور blf645 من شركة Philips حتى حصلنا على استطاعة 100 W تغطي أكثر من 3 octave من التردد الأصغري، وبالإضافة الى إيجاد حل لمشكلة عدم ثبات ربح المكبر ومعامل VSWR خلال المجال الترددي العريض، هذا التصميم المقترح يلبي متطلبات معايير الاتصالات الحديثة مثل القفز الترددي و نثر الطيف و إمكانية نقل معطيات (SMS, IP PACKETS, VIDEO) ،مثل بث الفيديو الرقمي وغيره.

*أعد البحث في سياق رسالة الدكتوراه للطالبة ميس محمد بإشراف الأستاذ الدكتور فريز عبود ومشاركة الدكتور محمد الحريري

** طالبة دكتوراه - قسم الاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق

***أستاذ - قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق

**** باحث رئيسي - المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا

Study methods of designing wide band matching circuits for power amplifiers used in metric and decimeter wave applications*

Eng. Mais Mohamed **

Dr. Fariz Abboud ***

Dr. Mohamad Al hariri ****

Abstract

This paper presents the design of broadband matching circuits based on several models that have been studied, designed and made some comparisons between them with respect to the frequency band and the impedance conversion ratio, where the focus was on designing two types of transformers that achieve a wide band frequency, namely, interconnected transformers and ferrite transformers, and choosing the most appropriate model for their application. On the amplifiers of the power to operate on a wide band more than an octave while maintaining the coefficient of VSWR and obtaining the greatest power, where in the application of the ferrite transformers Guanella model as a 1: 4 impedance transformer ,in addition to the Ruthroff model in the form of a Balun transformer 1: 1 to approve the impedance of input and output of the transistor blf645 from Philips until we obtained The power of 100w covers more than 3octave of the minimum frequency, and in addition to finding a solution to the problem of instability of amplifier gain and VSWR during the wide frequency range, this proposed design meets the requirements of modern communication standards such as frequency

hopping, spectrum scattering and data transmission capability (SMS, IP PACKETS, VIDEO) such as, Digital video broadcasting and more

Key words: broadband, matching circuits, Impedance transformer, Power amplifiers

* The research was conducted in the context of the Phd thesis of the student Mais Mohammed under the supervision of Dr. Fariz Abboud and the participation of Dr. Mohamad Alhariri.

** Phd.Sc.Student Department of Communications - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Damascus University.

*** Prof.Dr. Department of Electronics and Communications Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University.

**** Major Researcher, Higher Institute of Applied Sciences and Technology.

1- المقدمة:

تعتبر دارات المواعمة عريضة الحزمة من العناصر الأساسية لتصميم مكبرات الاستطاعة المنخفضة الضجيج ، ومكبرات الاستطاعة العالية والهوائيات، ومقسمات ومجمعات الاستطاعة ومكونات أخرى من عناصر الأجهزة الراديوية وغيرها [1]. الهدف الرئيسي من دارات المواعمة هي تقليل الانعكاس بين المكونات الراديوية ونقل الاستطاعة القصوى للإشارة، ولكن تكمن الصعوبة في تطبيقات الحزمة الترددية العريضة، [2] وخاصة إذا كان أكثر من أوكتاف، مع المحافظة على الخطية ونسبة عالية لإستطاعة الإشارة.

2- هدف البحث:

تطوير دراسة تصميمية لدارات موافقة تحقق الحزمة الترددية العريضة لأكثر من أوكتاف مع الحصول على نسبة تحويل عالية للممانعة، وإجراء مقارنة بينها بما يتناسب مع تصميم مكبرات الاستطاعة في ترددات VHF-UHF ، وبالإضافة الى إيجاد حل لمشكلة عدم ثبات ربح المكبر و معامل [voltage standing wave ratio] VSWR خلال الحزمة الترددية العريضة.

3- أدوات البحث :

برمجية متطورة (MICROWAVE OFFICE) NIAWR .

كبلات محورية بممانعات مميزة (عناصر موزعة)، قاعدة عازلة F4، مواد فريتية تعمل على ترددات تصل حتى 1 GHz، ترانزستورات LD MOSFET.

4- الدراسة النظرية:

يعتمد عرض المجال الترددي في تقنيات الإتصال اللاسلكي على معدل البيانات، وزيادة معدل نقل البيانات تتطلب تقديم استجابة مجال ترددي عريض [2] ، حيث تم تطبيق العديد من التقنيات على تصميم دارات المواعمة على مجال ترددي ضيق، وعريض ومتعددة المراحل. وفي السنوات الأخيرة تم تطوير العديد من دارات المواعمة لتحقيق المجال الترددي العريض مع نسبة تحويل

ممانعة عالية، سنذكر بعض هذه الطرائق وإجراء بعض المقارنات بينها. ولكن يجب ذكر مقدمة مختصرة عن خطوط النقل.

1-4- مقدمة عن خطوط النقل:

تعرف ممانعة دخل لخط نقل ذو حمل Z_L وطول كهربائي θ معرف بممانعة مميزة ب Z_0

$$Z_{in} = Z_0 \frac{1 + \Gamma_m e^{-j2\theta}}{1 - \Gamma_m e^{-j2\theta}} \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{Z_L}{Z_0} = \frac{1 + \Gamma_L}{1 - \Gamma_L} \dots \dots \dots (2)$$

$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \theta}{Z_0 - jZ_L \tan \theta} \dots \dots \dots (3) \text{ عندئذ}$$

وباستخدام شرط $Z_{IN} = Z_S^*$ conjugate matching نحصل على أفضل مواءمة وبالتالي يتم نقل لإستطاعة عظمى [1,4]. دارات المواءمة المستخدمة عادة هي المواءمة باستخدام العناصر الموزعة للترددات التي فوق 1GHZ، كما يحدد عرض المجال الترددي بالأوكتاف عندما تحقق نسبة 66% من التردد المركزي من خلال العلاقة (4):

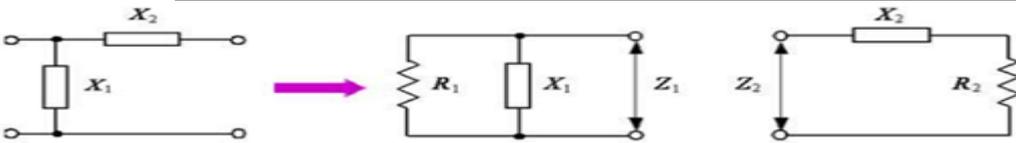
$$BW\% = \frac{100 * 2 * (F_{max} - F_{min})}{F_{max} + F_{min}} \dots \dots \dots (4)$$

سنعرض تقنيات تصميم دارات الموافقة عريضة المجال

2-4- تقنيات تصميم دارات المواءمة عريضة المجال

1-2-4- محول من النمط L :

تعتبر دارة المواءمة من النمط L ذات المقطع الواحد منخفضة الضياع من أبسط دارات المواءمة. السبب الرئيسي لاختيار شبكة LC منخفضة Q على شبكات LC الأخرى هو أننا نحتاج إلى مسار تزويد DC لمكبرات الاستطاعة. يمكن لهذه الدارة أن تحقق تحولاً مثاليًا للمقاومة عند تردد واحد ولها مواءمة جيدة على مجال تردد معين.



الشكل (1) محول من النمط L مقطع واحد ، والدائرة المكافئة له

بمطابقة Z_1, Z_2 الجزء الحقيقي والتخيلي:

$$R_2 + jX_2 = \frac{R_1 X_1^2}{R_1^2 + X_1^2} + j \frac{R_1^2 X_1}{R_1^2 + X_1^2} \dots \dots \dots (5)$$

$$R_1 = R_2(1 - Q^2)$$

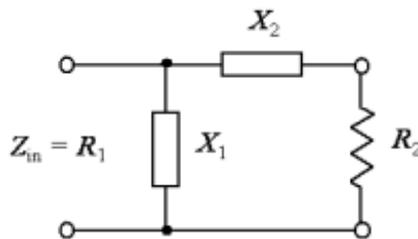
فنجد : $X_1 = X_2(1 - Q^{-2}) \dots \dots \dots (6)$
حيث يمثل Q معامل الجودة للدارات التسلسلية والتفرعية.

$$7Q = R_1 / |X_1| = |X_2| / R_2 \dots \dots \dots (7)$$

باستخدام شرط conjugate matching مع العناصر التفاعلية (6)

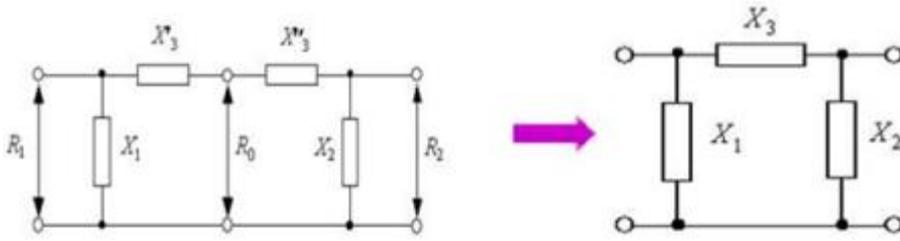
$$R_1 = R_2(1 - Q^2), X_1 = -X_2(1 - Q^{-2}) \dots \dots \dots (8)$$

فحصل على الشكل (2):



الشكل (2) محول L باستخدام Lumped element

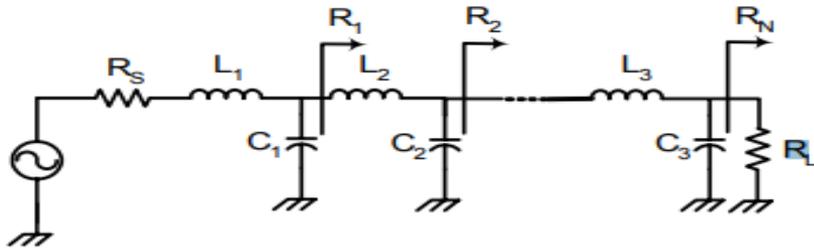
ولكن بالامكان زيادة عدد المقاطع الى مقطعين كما في الشكل (3) لزيادة عرض الحزمة الترددية ولكن تبقى محدودة ، بالإضافة الى أنه يوجد صعوبة في حالة المصدر الحقيقي وتحويل مقاومة الحمل ، حيث يمكننا حساب قيم L و C عن طريق تحويل الشبكة المتوازية إلى شبكة متسلسلة، ولكن تبدي الملفات والمكثفات سلوك مختلف مع الترددات العالية فالملف يصبح له خواص سعوية مع التردد وبالعكس (أي يعمل الملف كمكثف)، [5,6] لذلك تبقى هذه الطريقة محدودة التطبيق حتى تردد 1GHz.



الشكل (2) محول من النمط L مقطعين ، والدارة المكافئة له

4-2-2-2 - شبكة LADDER :

استخدم هنا في هذه الطريقة الشكل العام لمرشح تمرير منخفض الشكل (3) لزيادة عدد المقاطع وبالتالي زيادة عرض المجال الترددي . بشرط $R_L > R_S$. ولكن بسبب عدد العناصر الكبير تنخفض جودة الدارة. [7]



Multi-stage low Q LC matching networks ($R_L > R_S$).

الشكل (3) شبكة ladder

4-2-3-3 - محولات ربع الطول الموجي:

تقدم هذه المحولات عرض مجال ترددي محدود و قد تصبح الممانعات المطلوبة غير عملية لتحقيقها عند التحويل إلى مقاومة عالية أو منخفضة للغاية على الرغم من أنه يمكن التغلب على هذه القيود باستخدام عدة مقاطع من المحولات مما تؤدي الى زيادة طول المحول ، [5,8] خاصة في مستويات الترددات المنخفضة، تعطى ممانعة الخط لمحول ربع طول الموجة بالعلاقة:

$$Z_0 = \sqrt{Z_L * Z_S} \dots \dots (9)$$

وخط نقل بطول كهريائي $\theta=90^0$ أي ربع طول موجة عندئذ:

$$\frac{Z_o^2}{Z_L} = Z_s \dots\dots\dots(10)$$

بالإمكان استبدال الخط المحوري بزواج من الخطوط الشرائحية على ركائز GaAs وSi وهذه التقنية تدعى بمحول الخطوط المترابطة. كل الطرائق السابقة من الصعب الحصول على مجال ترددي عريض الا بعد زيادة عدد المراحل مما يجعلها أكبر حجماً وأكثر تعقيداً (من حيث حساب قيم العناصر). لذلك سننتقل الى طرائق مختلفة أخرى تتكون من مرحلة (مقطع) واحدة كافية لتغطي حزمة ترددية عريضة.

4-2-4 - خطوط النقل الشرائحية المترابطة Coupled microstrip:

تتطلب الأنظمة دائماً تكلفة منخفضة وأداء عالي لمكونات متوافقة بشكل جيد. ولكن عندما تعمل على ترددات راديوية منخفضة، تستخدم خطوط النقل التقليدية متعددة الطول الموجي لربع طول الموجة حيث تصبح مواعمة ممانعة المجال العريض غير عملية. تظهر نفس المشكلة مع موافقة ممانعة الهوائي الفردي في مصفوفة هوائي كبير الحجم، عندما تكون المساحة المتاحة لشبكات التغذية والموافقة محدودة. إذا طول المحول معلم حاسم لتصميم دارات مواعمة الممانعة المصغرة [9].

أُفترحت في السنوات الأخيرة الخطوط المترابطة المتماثلة كعنصر مواعمة، حيث يتم تصميم المحول بشكل عام من خلال معرفة الاختلاف بين الممانعة الفردية Z_{0o} و الزوجية Z_{0e} التي هي عبارة عن متحول يتحكم بالقسم الحقيقي والتخيلي لممانعة الحمل Z_L من خلال إضافة خط نقل يحقق المركبة التخيلية صافية. كما أنه يوفر اثنين من أصفار معامل النقل في نطاق التوقف الذي تم إنشاؤه بواسطة خطوط microstrip [11].

باستخدام المحاكاة الكهرومغناطيسية التي يقدمها برنامج NIAWR لنمذجة دارة المحول كخط نقل للحصول على أفضل ممانعة مميزة لتحويل الممانعة، تم تقليل المحول المترابط من 4 منافذ إلى 2 منفذ، منفذ مترابط مفتوح 2 ومنفذ عبور 4 ينتهي

عبر حمل Z4. هنا تم تطوير المحول ليحقق درجة عالية من السهولة في التصميم من خلال تحميل كلا المنفذين 2 و 4 بخط نقل شرائحي يحقق نسبة تحويل الضعف، ولكن بتصميم أسهل لأنه من الصعب تحقيق قيم عملية للمنفذ 4 كما هو وارد في المرجع [5] والشكل (5) يعرض عدة نماذج لدارات مصممة بتقنية الخطوط المترابطة كما يلي:

النموذج الأول من الشكل (5)، تم تصميمها على تردد 400 MHz باستخدام العلاقات التالية (11-21) ولكن هنا تكمن المشكلة بالطول الكبير ونسبة التحويل هي الضعف فقط، ولكن حصلنا على مجال ترددي أكبر من أوكتاف، هنا يتم استخدام محول الخط المترابط كمحول مقاومة، مع تحديد نهايات المحول بشكل صحيح. المطابقة الفعالة للأحمال الحقيقية والتخيلية لأطراف المحول تعرف كما يلي [5]:

$$Z_{11} = Z_{22} = Z_{33} = Z_{44} = -j/2(Z_{0e} + Z_{0o})\cot\theta \dots \dots \dots (11)$$

$$Z_{12} = Z_{21} = Z_{34} = Z_{43} = -j/2(Z_{0e} - Z_{0o})\cot\theta \dots \dots \dots (12)$$

$$Z_{13} = Z_{31} = Z_{34} = Z_{43} = -j/2(Z_{0e} - Z_{0o})\csc\theta \dots \dots \dots (13)$$

$$Z_{14} = Z_{41} = Z_{23} = Z_{32} = -j/2(Z_{0e} + Z_{0o})\csc\theta \dots \dots \dots (14)$$

$$Z_{IN} = \frac{V_1}{I_1} = \frac{Z_{11}Z_L + |Z|}{Z_L + Z_{22}} \dots \dots \dots (15)$$

نمط انتشار الموجة (TEM) لنفترض أن خطوط النقل للمحول متماثلة، يمكن التعبير عنها من حيث الوضع الزوجي والفردى للممانعات:

$$|Z| = Z_{11}Z_{22} - Z_{21}Z_{12} \dots \dots \dots (16)$$

$$\theta = \frac{\pi}{2}, \quad \csc\theta = 1 \text{ and } \cot\theta = 0$$

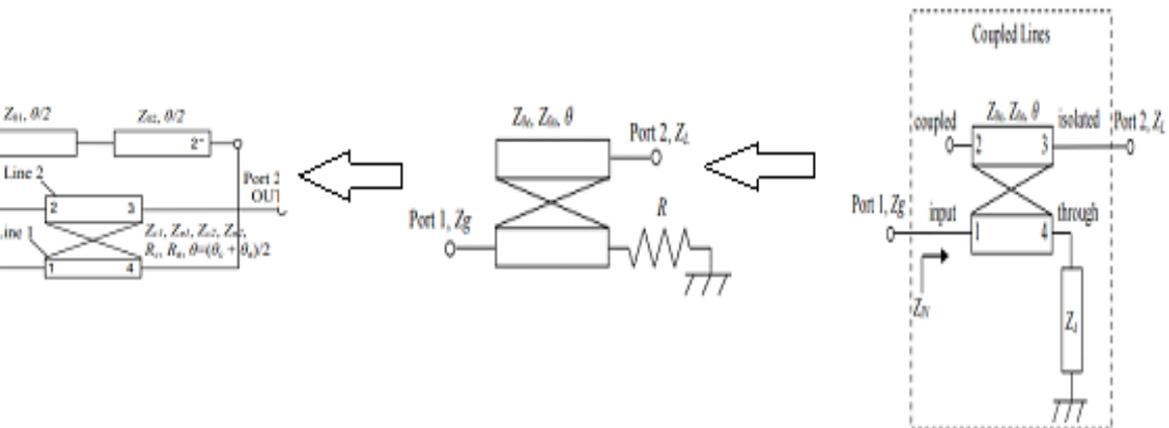
$$\{Z_+ = Z_{0e} + Z_{0o} \quad \text{and} \quad Z_- = Z_{0e} - Z_{0o}\} \dots \dots \dots (17)$$

$$Z_{IN} = \frac{-Z_{21}Z_{12}}{Z_L} = \frac{-(-j/2)^2 Z_-^2}{Z_L} = \frac{Z_-^2}{4Z_L} \dots \dots \dots (18)$$

$$\Gamma_{IN} = \frac{Z_{IN} - Z_g}{Z_{IN} + Z_g} = \frac{\frac{Z_-^2}{4Z_L} - Z_g}{\frac{Z_-^2}{4Z_L} + Z_g} \dots \dots \dots (15) \quad \frac{Z_-^2}{4Z_L} - Z_g = 0 \dots \dots (19)$$

$$Z_O = \sqrt{Z_g Z_L} \dots \dots \dots (20)$$

$$Z_{Oe} - Z_{Oo} = 2 \sqrt{Z_g Z_L} \frac{1 + \Gamma_{IN}}{1 - \Gamma_{IN}} \dots \dots \dots (21)$$



الشكل (4) تتابع تناقص منافذ دائرة محول مترابط من أربع منافذ الى منفذين.

هنا تم تصميم المحول السابق على أساس الخطوط المترابطة الغير المتماثلة.

أما لكي نحصل على نسبة تحويل أعلى، وهو النموذج الثاني من الشكل (5)، سنستخدم خط نقل متسلسل بممانعة Z_a وطول θ_a ، وخط نقل مترابط بممانعة زوجية وفردية Z_{Co}, Z_{Ce} على التوالي بطول θ_c ذو نهاية مفتوحة أو مقصورة. هذا النموذج يوفر تطابقاً مثالياً بين منفذين مختلفين بالممانعات والطول الكهربائي θ_c, θ_a عند $\pi/2$ التردد المركزي، حيث يتم استخدام هذه النموذج لموافقة ممانعة الحمل المطلوبة لمقاومة المنبع ($Z_S = 50\Omega$) مع استجابة حزمة ترددية عريضة.

من خلال مصفوفة ABCD لدائرة مؤلفة من خطين مترابطين ذات منفذين بمرجعين مختلفين. الممانعات Z_1, Z_S ، يمكن كتابة المصفوفات بالعلاقات التالية: [19]، [20]

$$[S] = \frac{[\sqrt{Y_i}] \cdot [Z] - [\sqrt{Z_i}]}{[\sqrt{Y_i}] \cdot [Z] + [\sqrt{Z_i}]} \dots \dots \dots (22)$$

$$\{[\sqrt{Z_i}] = \begin{bmatrix} \sqrt{Z_c} & 0 \\ 0 & \sqrt{Z_i} \end{bmatrix}, [\sqrt{Y_i}] = \begin{bmatrix} \sqrt{Y_c} & 0 \\ 0 & \sqrt{Y_i} \end{bmatrix}\} \dots \dots \dots (23)$$

ZC الممانعة المميزة للطنانة بناءً على خصائص التحويل بين الدارة و المعاملات S للمنفذين الغير المتماثلين يتم التعبير عن دارة الموافقة كـ

$$S_{11} = \frac{AZ_l + B - CZ_l Z_s - DZ_s}{AZ_l + B + CZ_l Z_s - DZ_s} \dots \dots \dots (24)$$

$$S_{21} = \frac{2\sqrt{Z_l Z_s}}{AZ_l + B + CZ_l Z_s - DZ_s} \dots \dots \dots (25)$$

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ J \tan \varphi_c & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_A & j \sin \theta_A \\ \frac{j \sin \theta_A}{Z_A} & \cos \theta_A \end{bmatrix} \dots \dots \dots (26)$$

حيث يتم حساب العناصر الفردية لمصفوفة ABCD بالعلاقات (27-30)

$$A = \cos \theta_A \quad (27)$$

$$B = jZ_A \sin \theta_A \quad (28)$$

$$C = j \tan \varphi_c \cos \theta_A / Z_c + j \sin \theta_A / Z_A \quad (29)$$

$$D = \cos \theta_A - Z_A Z_c \sin \theta_A \tan \varphi_c \quad (30)$$

$$Z_c = \sqrt{Z_{ce} Z_{co}} \quad (31)$$

$$\varphi_c = \arccos \frac{\rho 1 - \tan \theta_c^2}{\rho 1 + \tan \theta_c^2} \quad (32)$$

$$\theta_A = \theta_c = \frac{\pi f}{2f_0} \quad (33)$$

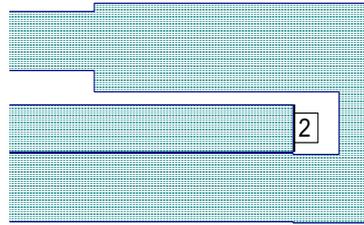
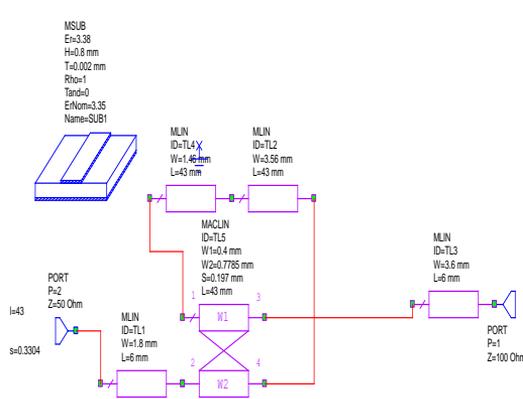
حصلنا هنا على نسبة تحويل اعلى من خلال قصر الخطين المترابطين من جهة وايضا فقط نقل متسلسل الى احد طرفي الخط المترابط. نلاحظ النموذج الثانية يعطي نسبة تحويل أعلى ولكن يعيق من عرض المجال الترددي الى أوكتاف فقط. وبالتالي يناسب تطبيقات UHF فقط .

لرفع نسبة التحويل إلى 5 = n وهو النموذج الثالث من الشكل (5)، يتم إضافة خط نقل مترابط إلى محول النموذج السابق الثاني باستخدام المحاكاة الكهرومغناطيسية وقد أثبتت هذه الدراسة أن هذا يسهل توليف المحولات الخطية المترابطة مع نسب التحويل من خلال زيادة عدد العناصر المترابطة وبالتالي سهولة التصميم و انضغاط هذه المحولات المستوية يجعلها جيدة. ولكن في

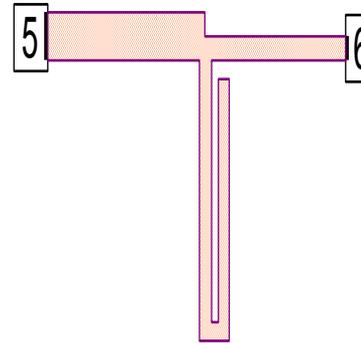
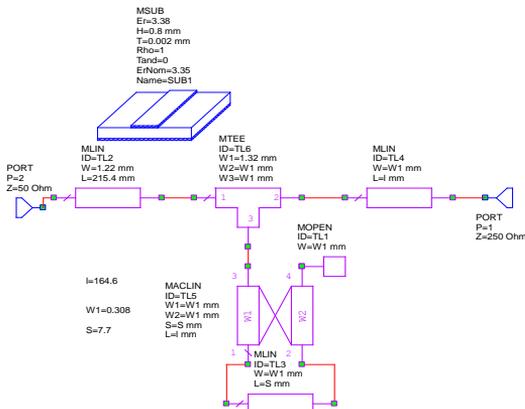
هذا النموذج زادت الممانعة الزوجية $Z_{0e} > 5 Z_{0o}$ أي زيادة في معامل الترابط coupling تؤدي الى زيادة عرض الحزمة الترددية.

تم إجراء المقارنة بين هذه النماذج عند نفس التردد 400MHz بما يقابلها كنسبة مئوية بالنسبة للتردد المركزي كما هو موضح بالشكل (6) باستخدام برمجية NIAWR. نلاحظ عرض المجال الترددي للنموذج الأول يحقق 99%، أما النموذج الثاني يحقق 66% والنموذج الثالث يحقق

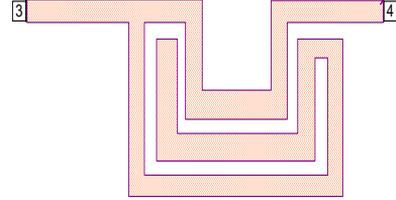
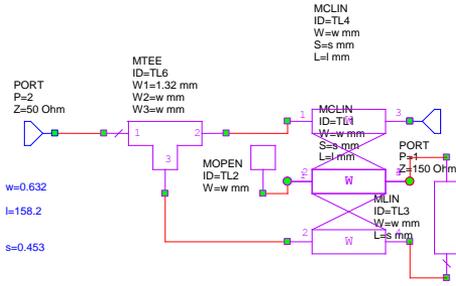
38% عند قيمة $R_L = -20dB$



النموذج الاول



النموذج الثاني



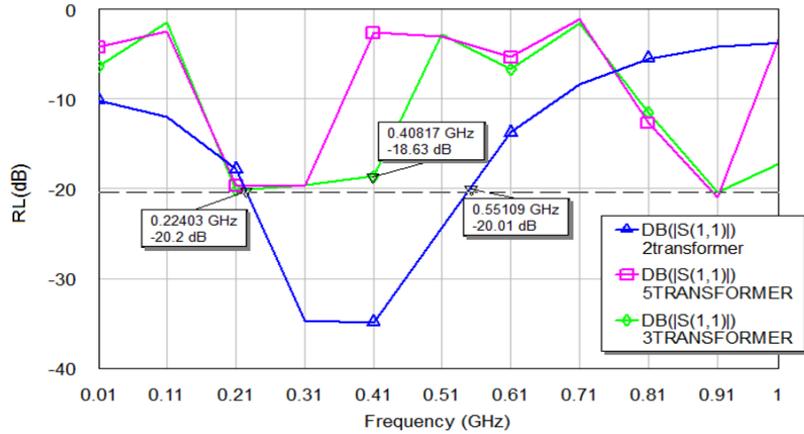
النموذج الثالث

الشكل (5) أشكال نماذج المحول المترابط

القاعدة العازلة المستخدمة Fr4، ذات ثابت عازلية 4.8 وسماكة $H=1\text{mm}$ وبمعامل

ضياح [0.018]

عرض الحزمة	نسبة التحويل
99%	2
66%	3
38%	5



الشكل (6) المقارنة بين نماذج المحولات

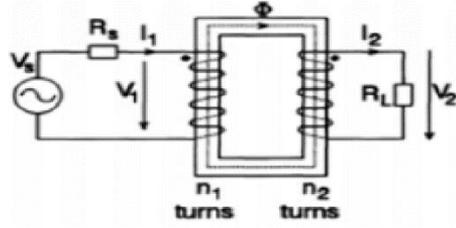
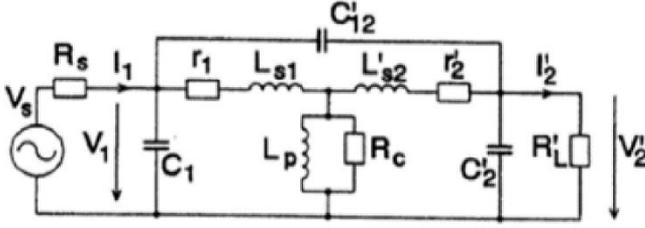
نلاحظ أن الدراسة السابقة مفيدة للترددات الأعلى من 1GHz بسبب الطول الكبير لمحور الممانعة .

4-2-5 - المحولات المغناطيسية

يتألف من ملفين يربط بينهما قلب مغناطيسي يتناسب جهد المحول الأول مع جهد المحول الثانوي طردا مع عدد اللفات حول القلب أما بالنسبة للتيار فيتناسب عكسا مع عدد اللفات ،الشكل (7) يوضح المحول المغناطيسي ،بالنسبة لمحول عديم الضياع تعطي ممانعة الحمل بالعلاقة التالية:

$$R = \left[\frac{n_1}{n_2} \right]^2 * R_L = n^2 R_L \dots \dots \dots (34)$$

لتحسين عرض المجال الترددي :يجب زيادة الممانعة التحريضية للملف LP على عكس المكثفات الطفيلية . هذين الشرطين صعب تحقيقهما في التطبيقات العملية [12] ، ممانعات الدخل والخرج للترانزستور منخفضة وهذا يتطلب ممانعات تسريب تحريضية منخفضة ، وبالتالي تستخدم فقط الى 30 MHz.



النموذج T المكافئ لدارة المحول

التمثيل الفيزيائي للمحول التقليدي

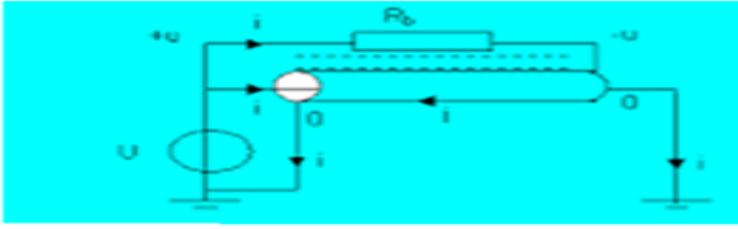
الشكل (7) المحول المغناطيسي

4-2-6- المحولات الفريضية:

تعتبر خطوط النقل المحورية الخيار الأفضل لمحولات خط النقل وذلك بلونها على قلب فريضي. لأن ممانعاتها المميزة لا تتأثر كثيراً بالنسبة لتشكيلة محددة في تصميمات المجال العريض متعددة الأوتكاف. يتطلب تصميم محولات خط النقل بشكل أساسي أن يفي المحول بمواصفات التردد المنخفض ،لذلك قد يلزم أيضاً التعويض عند الترددات المنخفضة أو العالية لتوسيع عرض المجال الترددي [13,4].

لتصميم محولات خط النقل ينبغي تحديد المقاومة المميزة وقطر خط النقل (قطر السلك) الذي سيتم استخدامه و تحديد الحد الأدنى لقيمة الحث الممغنط للمحول عند أدنى تردد، باختيار مادة مغناطيسية مناسبة (إذا لزم).

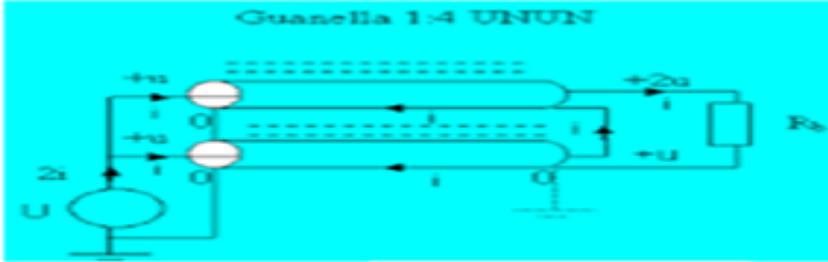
نموذج Ruthroff:



الشكل (8) نموذج Ruthroff

هذا النموذج يمثل محول 1:4 يعتمد على مبدأ جمع الجهود أو التيارات كما في الشكل (8). يتميز نموذج Ruthroff ببساطة تصميمه لأنه يحتاج الى قلب فريتي واحد وبالتالي ضياع أقل، يناسب مكبر (single ended).

نموذج Guanella:



الشكل (9) نموذج Guanella

يعتمد على مبدأ جمع الجهود من جهة الممانعة العالية وجمع التيارات من جهة الممانعة المنخفضة وبالتالي يلائم مكبر استطاعة دفع سحب كما في الشكل (9).

تم تلخيص نتائج هذه التقنيات المختلفة تبعاً لعرض المجال الترددي ونسبة تحويل الممانعة وأفضلية تطبيقها في الجدول (1):

جدول 1: نتائج مقارنة بين تقنيات تصميم دارات الموافقة

الحجم	التطبيق	نسبة تحويل الممانعة	عرض المجال	المجال الترددي	التقنية	
				F>1GHz F<1GHz	microstrip Lumped element	محول من النمط
صغير	مكبرات ومقسمات ومجمعات وهوائيات	مختلفة	محدودة بعدد المقاطع	F>1GHz F<1GHz	microstrip Lumped element	محول ربع طول الموجة
صغير	مكبرات ومقسمات ومجمعات وهوائيات	١:٤	أوكتاف	F>1GHz		محول ربع طول الموجة
صغير	مكبرات ومقسمات ومجمعات وهوائيات	مختلفة	محدودة بعدد المقاطع	F>1GHz F<1GHz	microstrip Lumped element	LADDER شبكة
صغير	مقسمات ومجمعات وهوائيات	محدودة ١:٢، ١:٤	أوكتاف	F<1GHz		الخطوط المترابطة
كبير	مكبرات الاستطاعة العالية	محدودة بعدد اللفات	عدة أوكتاف	F<30MHz		المحولات المغناطيسية
متوسط	مكبرات ومقسمات ومجمعات وهوائيات في الاستطاعة العالية	1:2 1:4 1:16	عدة أوكتاف ، ديكاد	F<1GHz		المحولات الفريزية

4-3- تصميم دارة موافقة عريضة المجال لمكبر استطاعة دفع جذب:

يعتبر المجال الترددي العريض واستطاعة الاشارة من أهم موارد الاتصالات التي يجب إدارتها بشكل جيد ، وخاصة في مجال تكنولوجيا الدارات المستخدمة في التطبيقات التجارية والعسكرية ضمن ترددات VHF-UHF.

يعد مكبر الاستطاعة العالية العنصر الأكثر أهمية في نظام الاتصال وقد أدت الحاجة إلى معدل بيانات عالية إلى عمل أبحاث تتعلق بتصميم مكبرات الاستطاعة بتقنيات جديدة لتعمل في المجال الترددي العريض وتناسب متطلبات معايير الاتصالات الحديثة مثل القفز الترددي ونشر الطيف ، وبالتالي إمكانية نقل معطيات (SMS,IP) ، PACKETS,VIDEO مثل بث الفيديو الرقمي [14].

تم تصميم مكبر استطاعة عريض المجال الترددي باستخدام ترانزستور (BLF645) Pushpull يحقق مجال ترددي [30-800 MHz] ومحاكاته باستخدام برمجية (NIAWR).

لتصميم دارة التوفيق لممانعتي الدخل والخرج للترانزستور المستخدم ، تم تصميم نوعين من محول خط نقل، الأول وفق نموذج Ruthroff يتألف هذا المحول من قلب فريتي وملف (كبل محوري 50Ω أو سلكين مجدولين)، ويتم توصيل الكبل كما في الشكل (8) ولكن تم استخدام الكبل

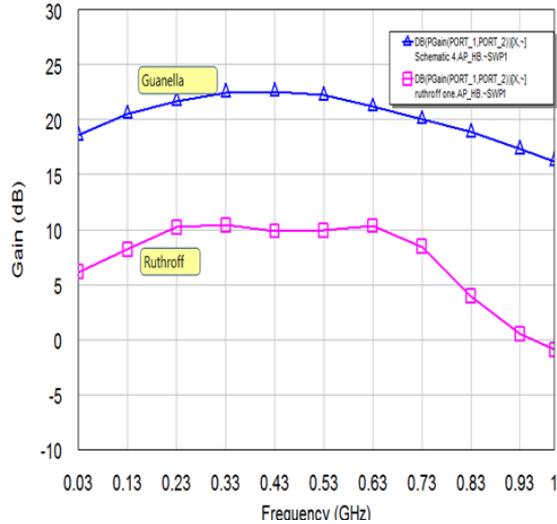
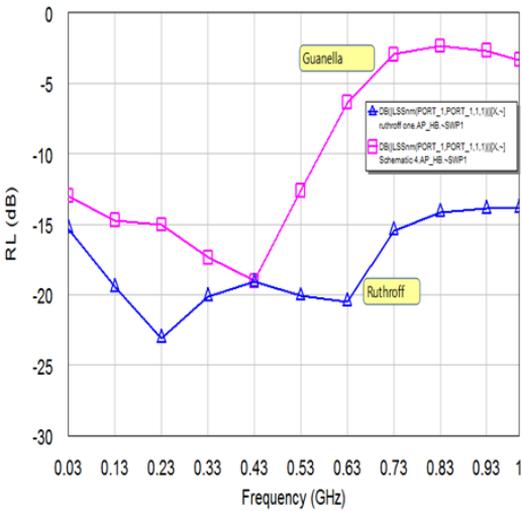
المحوري لسهولة محاكاته من حيث البارامترات ولأدائه المستقر، وتم التعريف عن القلب الفريتي بمعامل الذي يوصف المجال الترددي الذي يعمل عليه القلب حيث القلب الفريتي 61 ثنائي النواة يوصف بمعامل نفوذية $u_r = 125$ يعمل حتى تردد 1GHz.

يُعبّر عن خط النقل بالمعاملين Len, Er اللذان يعبران عن طول خط النقل وثابت العازلية للكبل. والثاني وفق نموذج Guanella يتألف من كبلين محوريين بممانعة مميزة 25Ω يتم وصلهما كما في الشكل (9) كل كبل يلف ضمن قلب فريتي بالإضافة إلى محول 1:1 أو ما يدعى بـ Balun.

Balun: عبارة عن خط نقل ذو ممانعة مميزة 50Ω يصل بين منفذين balance إلى منفذ unbalance.

4-3-1- المقارنة بين أداء نموذج Ruthroff و نموذج Guanella :

تم تطبيق كلا النموذجين السابقين على دائرة المكبر وتم اجراء المقارنة بين أدائهما كما في الشكل (10).



الشكل (10) المقارنة بين نموذج Ruthroff و Guanella من حيث الربح Gain وخسارة الإرجاع RL

نلاحظ عرض المجال الترددي لنموذج Ruthroff يحقق 142%، أما نموذج Guanella يحقق 99% ولكن بمعامل ربح أفضل، وهذا يؤكد أن نموذج Guanella هو الأفضل لتصميم مكبر دفع جذب (push pull).

في التصميم المقترح استخدمنا ترانزستور BLF645 وبعد الاستفادة من نشرة البيانات الفنية للترانزستور من أجل تصميم دائرة التغذية المناسبة واعتماد نموذج Guanella، كان لابد من تحسين نتائج التصميم على مجال ترددي عريض لذا تمت المفاضلة ما بين الريح ومعامل ل VSWR الذي هو من أهم العوامل في تصميم مكبر الاستطاعة العريض المجال لذا تمت إضافة دارات تضاف الى دائرة التوافق لتصحيح معامل VSWR مع معامل ربح المكبر. هذه الطرق تمت دراستها بشكل متتابع لنبين مدى تأثيرها على استجابة المكبر كما هو موضح بالجدول 2:

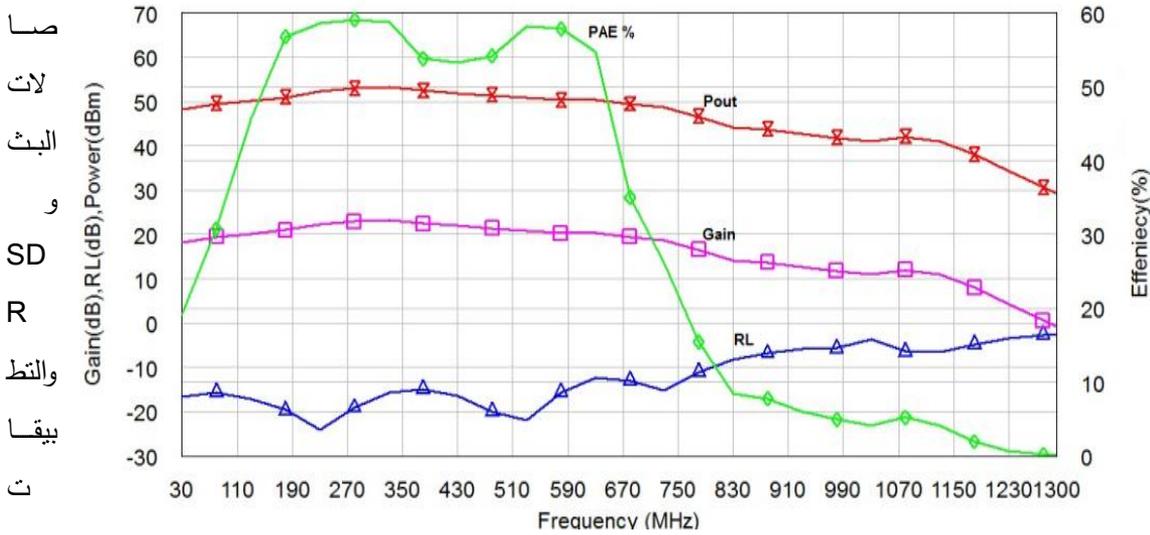
الجدول (2): نتائج إضافة دارات التحسين على الاستجابة الترددية للمكبر المصمم.

RL	المجال الترددي	نوع الدارة المضافة
$RL < [-2, -13]$	[1-230]MHz	NO
$RL < [-7, -13]$	[1-330]MHz	شبكة RC التغذية العكسية
$RL < [-8, -13]$	[1-600]MHz	شبكة R التفرعية
$RL < [-11, -16]$	[1-600]MHz	شبكة RC التسلسلية
$RL = [-13, -19]$	[1-530]MHz	إضافة الشبكات السابقة معاً

بعد إضافة الدارات الثلاث الى دائرة تصميم المكبر الموضحة في الشكل (11)، نلاحظ تحسن كبير في منحنى (return loss).

الشكل (11) المخطط الكهربائي لدارة التصميم النهائية

وبالنهاية تم ذكر نتائج تصميم المكبر المقترح باستخدام نموذج Guanella وبعد اضافة دارات التحسين بالتفصيل، في المقالة المنشورة في المرجع [15]، حيث أظهرت النتائج في الشكل (12) أن خسارة إرجاع المدخلات (S11) أقل من -15 dB ، والريح S21 أعلى من 10 dB ، وأن تقنيات المجال العريض: Balun وشبكة RC التسلسلية و التغذية العكسية RC يمكن استخدامها لتقليل خسارة الارجاع وتسطيح الريح، وبالتالي استخدام مكبر الاستطاعة المصمم في



الشكل (12) نتائج محاكاة دارة المكبر المصمم

اللاسلكية وغيرها.

5-الخاتمة:

تم في هذه الورقة عرض نتائج أحدث الطرق لتصميم درات المواعمة، التي تحقق الحزمة الترددية العريضة لأكثر من أوكتاف مع الحصول على نسبة تحويل عالية للممانعة، وإنقاء أفضل الطرق لتصميم مكبر استطاعة في ترددات VHF-UHF وتقديم حل لمشكلة عدم ثبات ربح المكبر ومعامل VSWR خلال الحزمة الترددية العريضة، من خلال الاستفادة من هيكلية الدفع والجنب، بالإضافة إلى تصميم شبكة المواعمة التعويضية عند دخل الترانزستور وشبكة التغذية العكسية

لتحقيق ربح مسطح تقريباً على حزمة ترددية عريضة بما يلبي متطلبات معايير الاتصالات الحديثة .

المراجع:

- [1] Andrei Grebennikov, "RF AND MICROWAVE TRANSMITTER DESIGN", Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2011.
- [2] Mustafa Akkul, ASELSAN A.S., Wolfgang Bösch, Graz , "Handbook of RF and Microwave Power Amplifiers ", Cambridge University Press October 2011.
- [3] أ.د. فريز عبود "تقنية الأمواج الميكروية والمليمترية"، منشورات جامعة دمشق 2015-2016 ، أ.د. شحادة الموسى،
- [4] David M.Pozar , Microwave Engineering,4th Edition, Wiley, 2012.
- [5]- Seyed Alireza Mohadeskasaei, Jianwei An, Yueyun Chen, Zhi Li, Sani Umar Abdullahi, and Tie Sun Systematic Approach for Design of **Broadband**, High Efficiency, High Power RF Amplifiers "ETRI Journal volume39 ,No 13,2017.

- [6] Shiva Ghandi Isma Ilamaran, Zubaida Yusoff, JahariahSampe,” 0.5GHz – 1.5GHz Bandwidth 10W GaN HEMT RF Power Amplifier Design Amplifier Design, Int J **Elec** & Comp Eng, Vol. 8, No. 3, June 2018.
- [7] Melika Momenzadeh ,Arash Ahmadi,” A Compact Size, Multi Octave Bandwidth Power Amplifier, Using LDMOS Transistors”, 26th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE2018) 30–1000,10w, 17–25% 8–12db
- [8] C. J. Kikkert, "RF Electronics: design and simulation," ed: James Cook University, 2013.
- [9] Coupled Transmission Lines as Impedance Transformer Jensen, Thomas; Zhurbenko, Vitaliy; Krozer, Viktor; Meincke, Peter. *ieee2007*
- [10] Rusan Kumar Barik, Chandu DS and S. S Karthikeyan,”Broadband Coupled–Line Matching Network For Two Dissimilar Port Reference Impedances “, Nuremberg, Germany. Proceedings of the 47th European Microwave Conference ,978–2–87487–047–7 © 2017 EuMA
- [11] Joseph F, White, “High Frequency Techniques: An Introduction to RF and Microwave Design and Computer Simulation”, Wiley–IEEE Press, 2016.
- [12] R. Smith and S. C. Cripps, "Broadband push–pull power amplifier design at microwave frequencies," in 2016 46th European Microwave Conference (EuMC), 2016, pp. 1353–1356.
- [13]– Material data sheets. Fair–Rite Products Corp. [Online]. Available: <http://www.fair-rite.com/newfair/materials.htm>.

[14] Peter Steve Pennock ,Ian A. Glover,” Microwave Devices, Circuits
Shepherd,
and Subsystems for Communications Engineering “, –John Wiley and
sons Broadband Linear Power Amplifier for Pico-cell Basestation
Application–2017

[15]Mais Muhamed,Fariz Abboud,Mohamad Alhariri, "Increase the
bandwidth of the power amplifier to 185% of the center frequency by
ferrite transformers” International Journal of Electronics Letters,Taylor
and Francis 07 Jan 2021.

قائمة الاختصارات والمفردات العلمية:

VSWR	النسبة بين موجات الجهد المنعكسة والمرسلة	Voltage standing wave ratio
NIAWR	برنامج تصميم محاكاة	MicrowaveOffice
UHF	الترددات الفوق العالية	Ultra High frequency
VHF	الترددات العالية جدا	very high frequency
RL	معامل الفقد	Return loss
Z _o	الممانعة المميزة لخط النقل	OPTIMAL Impedance
LD MOSFET	ترانزستور نصف ناقل أكسيد معدن ذو تسريب جانبي	laterally diffused metal oxide semiconductor fet

دراسة تحسين الوصول العشوائي في بروتوكول IEEE802.11 ad لملائمة زيادة عدد المستخدمين في تطبيقات انترنت الأشياء

د.م. ايلي خليل

ملخص

يدعم بروتوكول IEEE802.11ad الشبكات اللاسلكية المحلية المعتمدة على الأمواج المليمترية والتي أمنت معدلات نقل بيانات كبيرة مما دفع لأن تكون البنية الفيزيائية لشبكات الجيل القادم اللاسلكية ، الأمر الذي حتم تطوير بروتوكولات خاصة لدعم تقنيات تشكيل حزمة الإشعاع بما يلائم الاشارات المليمترية.

ومع الازدياد المضطر بعدد الأجهزة المتوقع أن تتصل بالشبكة واعتماد تطبيقات انترنت الأشياء ، ازدادت الحاجة لتطوير هذا البروتوكول بهدف تحسين آلية الوصول العشوائي وامكانية اتصال عدد أكبر من التجهيزات.

ندرس في هذا البحث هذه المشكلة ونشرح الطرائق المقترحة لتحسين الوصول العشوائي ونبين عيوب ومزايا هذه الخوارزميات

Improve the Random Access in IEEE802.11 ad To accommodate the increase in the number of users in IoT applications

The IEEE802.11ad protocol supports local wireless networks based on millimeter waves, which have proposed large data transmission rates, prompting the physical structure of next-generation wireless networks to be, which necessitated the development of special protocols to support radiation beamforming techniques that are compatible with millimeter signals. With the expected forced increase in the number of devices to connect to the network and the adoption of IoT applications, the need to develop this protocol in order to improve the random access mechanism and the connectivity of a greater number of equipment has increased. In this paper, we study this problem, explain suggested methods to improve random access, and show the disadvantages and advantages of these algorithms

1- مقدمة:

إن التزايد الكبير في عدد الأجهزة التي ستتصل مع الشبكة اللاسلكية وتطور تطبيقات المدن الذكية وانترنت الأشياء و العمل المتداخل بين الشبكات اللاسلكية المحلية وشبكات الجيل الخامس الخليوية ، دفع باتجاه تطوير بروتوكولات للشبكة اللاسلكية المحلية بما يدعم الوصول العشوائي لعدد كبير من التجهيزات وتأمين تجنب التصادم الذي قد يحدث عند ازدياد عدد التجهيزات المتصلة.

أول البروتوكولات التي قدمت لدعم شبكات اللاسلكية المعتمدة على الأمواج المليمترية هو بروتوكول بروتوكول IEEE802.15.3c المعتمد في الشبكات اللاسلكية الشخصية Wireless personal area network (WPAN) [1] ،الذي يعتمد على تأسيس اتصال بين أجهزة ضمن مسافة قصيرة، والذي اعتمد لدعم تقنية انترنت الأشياء (IOT) ، الشرط اللازم لتنفيذ هذا النموذج هو مفهوم الأشياء الذكية، والتي هي كائنات لها "هوية" في الشبكة، والتي يمكنها معالجة البيانات والتواصل والتفاعل فيما بينها، وندعو عملية تواصل الآلات مع بعضها البعض بالاتصال من آلة لآلة M2M ، ثم اعتمد بروتوكول الشبكات اللاسلكية المحلية IEEE802.11ad (WLAN) عام 2012 [2]، ولكن أحد أهم عيوب هذا البروتوكول هو قصوره عن دعم اتصال عدد أكبر من 8 تجهيزات في آن واحد الى الشبكة حيث سيزداد احتمال حدوث تصادم خلال مرحلة تدريب الشعاع ما سنبيين لاحقاً، مما دفع لتطوير بروتوكول IEEE802-11 ay والذي لايزال قيد التطوير وقد اقترحت عدة آليات لتقليل احتمال حدوث تصادم سندرسها ونقارن أداءها في هذا البحث.

2- هدف البحث:

يهدف هذا البحث الى دراسة مشكلة التصادم والوصول العشوائي في بروتوكول IEEE802.11ad المقترح للشبكات اللاسلكية التي تعمل على الأمواج الميليمترية ودراسة الطرائق المقترحة لتحسين عملية الوصول العشوائي في حالة زيادة عدد الأجهزة التي تحاول الاتصال في الشبكة مما يساهم في دعم تطبيقات اتصالات جهاز لجهاز و تطبيقات إنترنت الأشياء.

3- بروتوكول IEEE802.11 ad :

اعتمدت IEEE802.11ad بروتوكولاً يستند الى اختيار الشعاع من أجل تحقيق تشكيل الحزمة التماثلي عبر ثلاث مراحل [2]:

1- مرحلة مسح القطاع (SLS (Sector Level Sweep): حيث يتم ضبط هوائيات الإرسال لكل من البادئ و المجيب على النمط غير الموجه Quasi-Omni بالتناوب ويتم إرسال الإشارات التدريجية لتحديد أفضل قطاع للإرسال كما هو مبين في الشكل (1).

2- مرحلة تحسين الشعاع (BRP) (Beam Refinement Phase): حالما يتم تحديد القطاع تقوم الBRP بتدريب مصفوفات هوائيات الاستقبال لاختيار شعاع الهوائي الأمثل .

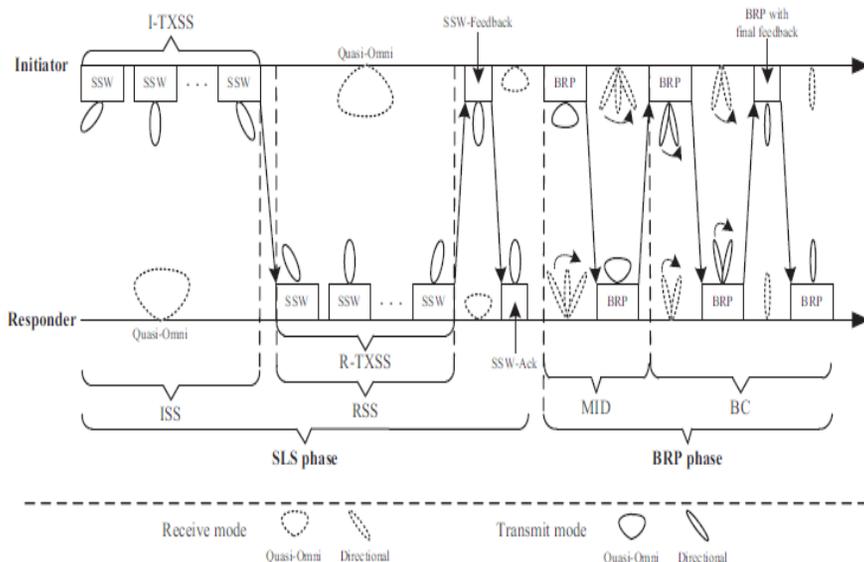
3- مرحلة تتبع الشعاع (BT) (Beam Tracking Phase): تُستخدم مرحلة تتبع الشعاع الأمثل أثناء نقل البيانات لضبط لتغييرات القناة، ويتم تنفيذ تتبع الشعاع

بواسطة إلحاق حقول التدريب (TRN) بحزم البيانات. وهي تحتوي أيضًا على حقل التحكم بالبرج التلقائي (AGC). إن حقل TRN هي مخصصة لكل شعاع من أجل تخمين القناة CE لتحسين دقة تقدير زمن التأخير.

تسمى المحطة (STA) التي تبدأ التدريب لتكوين الشعاع بالبادئ ، ويسمى المستلم بالمستجيب، تتألف مرحلة الـ SLS من مسح القطاع الابتدائي initiator (ISS) ، sector sweep، ومسح قطاع المستجيب (RSS) responder sector sweep ، ومسح التغذية العكسية للقطاع (SSW-FB) sector sweep feedback ، والاعتراف بالقطاع (SSW-ACK) .

الآن و بعد تحديد القطاع الامثل لهوائيات الإرسال لكل من البادئ والمستجيب، تقوم مرحلة BRP بتدريب جانبي الإرسال والاستقبال لتحسين الحزمة التي اختيرت خلال الـ SLS بشكل منكرر؛ حيث تتكون مرحلة BRP من مرحلة التأسيس، ومرحلة كشف هوية القطاع المتعدد (MID) Multiple Sector ID Detection ومرحلة الجمع بين الحزم (BC) .

دراسة تحسين الوصول العشوائي في بروتوكول IEEE802.11 ad لملائمة زيادة عدد المستخدمين في تطبيقات انترنت الأشياء



الشكل (1) إجراء تشكيل الشعاع النموذجي

يظهر الشكل (2) إطار الـ MAC النموذجي في IEEE802.11ad [2] ، وتسمى القناة المشكلة بالقناة الموجهة متعددة الغيغا بايت (Directional-Multi Gigabit) DMG ، وتوصف هذه القناة بأنها تتعلق بالعمل في نطاق تردد يحتوي على قناة ذات تردد فوق 45 جيجا هرتز.

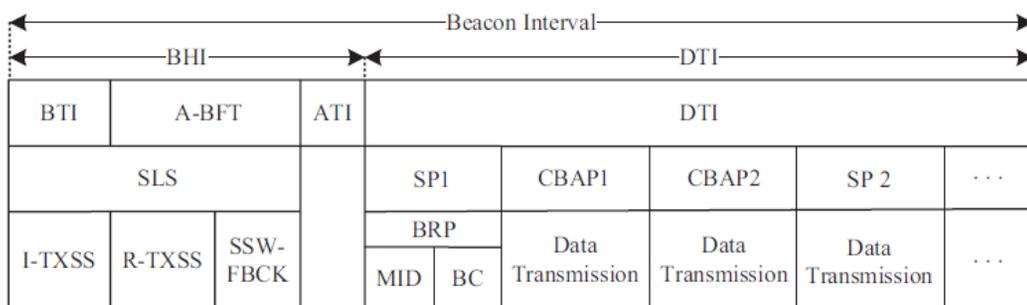
يتم تنسيق الوصول عبر القناة DMG في IEEE802.11ad بواسطة الـ DMG لنقطة الوصول (AP) أو نقطة التحكم في مجموعة الخدمات الأساسية الشخصية (PCP) وفقاً لفاصل زمني (BI) بواسطة جدول مصمم بشكل مناسب؛ حيث يمكن تضمين معلومات الجدولة في DMG Beacon بعد تلقي معلومات الجدولة، تصل الـ DMG للمحطة STA إلى المستلم استناداً إلى قواعد الوصول وفقاً لفترة محددة (BI) Beacon interval.

تقسم الفترة الزمنية BI كما هو مبين في الشكل (2) إلى قسمين : مقدمة الفاصل الزمني Data Transfer (BHI beacon header interval) ، وفترة نقل البيانات Data Transfer interval (DTI) .

يتألف القسم الأول (BHI) من فاصل الإرسال (BTI beacon transmission interval) ، و تدريب تكوين الشعاع المترابط association beamforming training (A-BFT) ، و فاصل الإرسال المعلن announcement transmission interval(ATI)

بينما يتألف القسم الثاني (DTI) من فترات الخدمة المجدولة scheduled service periods (SPs) ، ومن فترات الوصول القائمة على التنافس consists of contention-based access periods (CBAPs) .

يتم خلال المرحلة الأولى BHI إرسال DMG frames لانجاز مسح القطاع الإرسال للبادئ (I-TXSS) عبر جميع القطاعات وتسمى هذه الإطارات المرسله بـ SSW frame ، ويتم خلال مرحلة A-BFT إرسال DMG frames عبر محطة STA المتلقية، ثم فترة تدريب تكوين الشعاع The association beamforming training (ABFT) ؛ حيث تستخدم هذه الفترة لإجراء عمليات تكوين الشعاع للمحطات الجديدة التي تنضم إلى الشبكة.

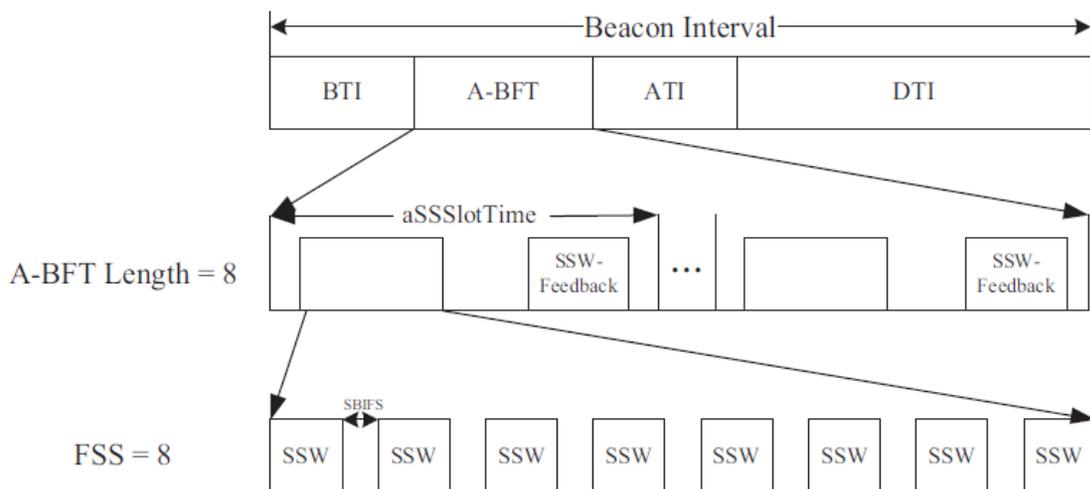


الشكل (2) إطار MAC النموذجي في IEEE802.11ad

4- مشكلة التصادم في IEEE802.11ad:

بعد نهاية مرحلة BTI ، سوف تنجز عملية الـ RSS خلال المرحلة A-BFT بين المستخدم والمحطة STA كما يتضح من الشكل (3)، وذلك عبر إرسال إطارات SSW، تتكون مرحلة A-BFT من عدة فترات زمنية SLOTS (حتى 8 فتحات)، ويشار إلى عدد فتحات في حقل طول A-BFT لإطار DMG الدليلي.

بعد تلقي إطار DMG الدليلي من BTI، فإن المحطات تختار بشكل عشوائي slot لتنفيذ مرحلة الـ RSS باستخدام إطارات SSW .



الشكل (3) بنية تشكيل الحزمة A-BFT

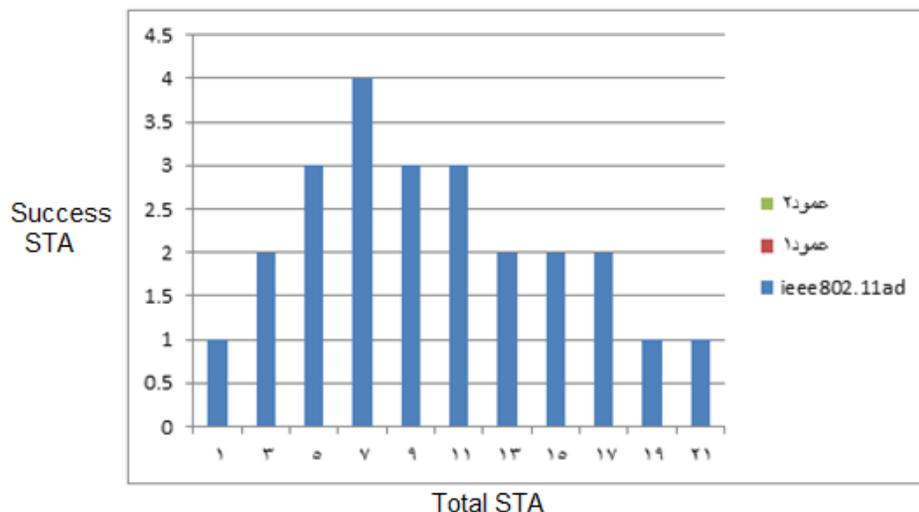
إذا تم تحديد نفس الـ SLOT من قبل اثنين أو أكثر من STAs لتنفيذ الـ RSS، سيحدث تصادم وقد تفشل عملية الـ RSS في هذه الـ SLOT، وبالتالي لن يرسل المستخدم إطار الـ SSW-FBCK في هذه الـ SLOT. عندها ستقوم المحطات التي فشلت بتنفيذ عملية الـ RSS بإعادة العملية مرة أخرى، حيث عرف بروتوكول IEEE802.11ad بارمترين الأول هو dot11RSSRetryLimit والثاني هو dot11RssBackoff، فإذا تجاوز الزمن الذي تفشل فيه المحطة الـ STA في انجاز الـ A-BFT فترة البارامتر الأول dot11RSSRetryLimit فسوف تعيد المحطة المحاولة مرة ثانية لانجاز الـ A-BFT بعد فترة زمنية هي dot11RssBackoff [3]. إن مشكلة التصادم هذه مشكلة أساسية عند ازدياد عدد المستخدمين مما يجعل من الضروري التعامل معها بهدف دعم تطبيقات انترنت الأشياء واتصالات M2M.

نقوم الآن بإجراء محاكاة لحالة شبكة لاسلكية باعتماد بروتوكول IEEE802.11ad، تمت الدراسة من أجل بيئة داخلية Indoor عند التردد 60GHz وافترضنا وجود نقطة وصول AP واحدة و n محطة موزعة بشكل عشوائي في منطقة تغطية الـ AP وذلك ضمن قطر 25m وتم تحديد معامل امتصاص الاوكسجين في الغرفة $a = 0.2$ وتم تحديد استطاعة الارسال بـ 20dBm واعتبرنا زمن الفتحة الـ SLOT هو $5\mu s$

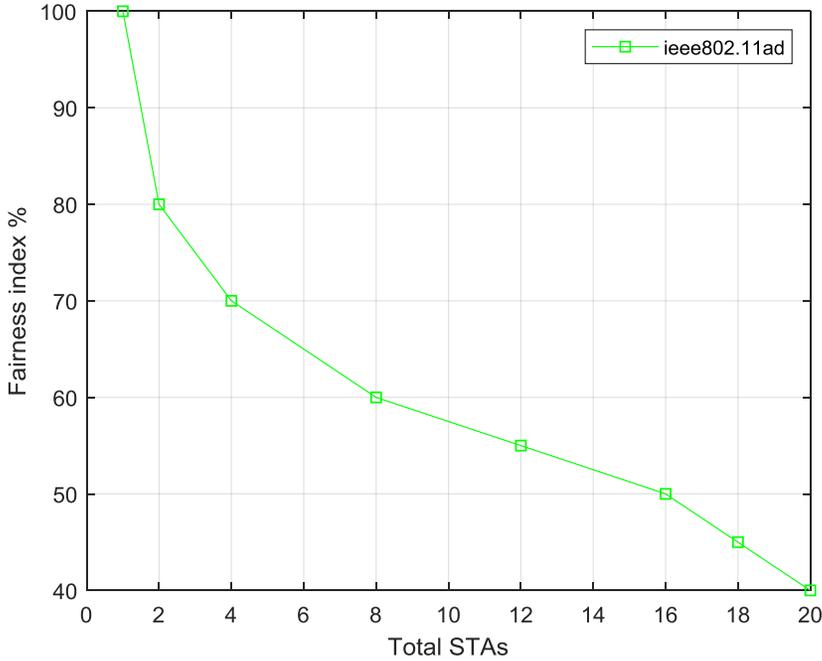
سنحسب عدد المحطات التي تتمكن من الوصول الناجح للشبكة وذلك مع ازدياد عدد المحطات الكلي من 1 حتى 21 ونبين النتائج في الشكل حيث يظهر بوضوح أن أكبر عدد تمك من الوصول الناجح للشبكة هو 4 محطات من أجل عدد محطات كلي 5 بينما ينخفض العدد بشكل كبير مع ازدياد عدد المحطات وذلك بسبب ازدياد حالات التصادم الناتج عن تزامن عدد طلبات الاتصال في مرحلة الـ A-BFT.

دراسة تحسين الوصول العشوائي في بروتوكول IEEE802.11 ad لملائمة زيادة عدد المستخدمين في تطبيقات انترنت الأشياء

كما قمنا بحساب معامل العدالة Fairness Index بالاعتماد على قاعدة Jain's Fairness index وتم رسم مخطط لعلاقة هذا المعامل مع ازدياد عدد المحطات حيث يتبين أيضاً أنه مع ازدياد عدد المحطات الى 4 ينخفض معامل العدالة الى 70% ويستمر التراجع ليصل 40% من أجل 20 محطة .



الشكل (4) عدد المحطات الواصلة بنجاح من أجل بروتوكول IEEE802.11ad



الشكل (5) معامل العدالة مقابل عدد المحطات الكلي في بروتوكول IEEE802.11ad

اقترحت في الآونة الأخيرة - ومع الازدياد المضطرد بعدد التجهيزات التي ستتصل مع الشبكة ومع التطبيق التدريجي لشبكات الجيل الخامس والتكامل الذي يجب أن يتم بين شبكات اللاسلكية المحلية وشبكات الجيل الخامس - عدة طرائق لتحسين عملية الوصول العشوائي وانجاز الـ A-BFT بشكل أكثر فعالية ، وسوف نعمل في بحثنا على دراسة هذه الطرائق وتبيان آلية عملها وإيجابياتها وسلبياتها، كما يقترح بروتوكول IEEE802.11ay -الذي لا يزال قيد التطوير- طريقة لتحسين عملية الوصول العشوائي وتفاذي التصادم عبر الاستفادة من مفهوم ترابط القنوات لزيادة امكانية الوصول ضمن الفتحة نفسها

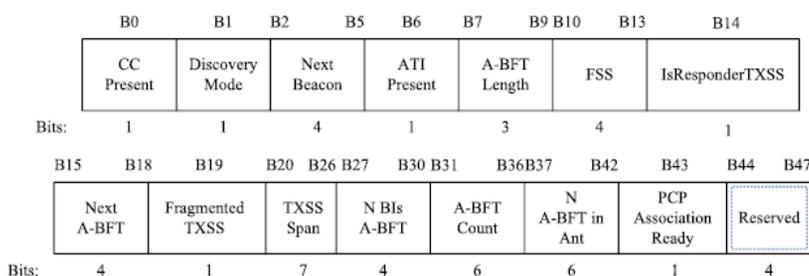
5- تحسين الوصول العشوائي في بروتوكول IEEE802.11ad عبر اعتماد بارامترات مرنة :

اقترحت طريقة لتقليل التصادم في A-BFT عبر اضافة بارامتر ثالث الى جانب البارامترين dot11RssBackoff و dot11RSSRetryLimit [4]، هو البارامتر FailedRssAttempt حيث يشير الى زمن الفشل في A-BFT ؛ حيث ستختار المحطة STA بشكل عشوائي رقم من المجال [0, dot11RSSRetryLimit-1] لتحديد زمن الانتظار ورقم عشوائي من [0, dot11RssBackoff-1] لاختيار زمن اعادة المحاولة ، وتهدف هذه الطريقة لجعل اختيار الأزمنة أكثر مرونة

6- تحسين الوصول العشوائي في بروتوكول IEEE802.11ad عبر اضافة فتحات اضافية قبل الفتحات الأساسية مع اضافة زمن عودة ثانوي (SBA) :

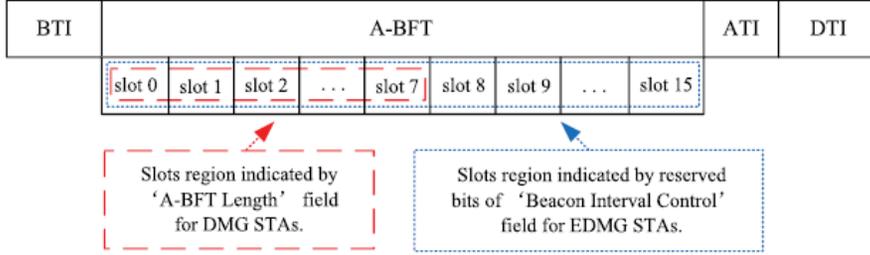
تم اقتراح طريقة لزيادة عدد فتحات الوصول العشوائي بعد الفتحات الرئيسية بالاستفادة من البتات المحجوزة الزائدة في إطار DMG ثم اضافة زمن عودة ثانوي لكل محطة بهدف تقليل احتمالات التصادم [5]

يبين الشكل بنية عنصر التحكم لأطار DMG حيث حقل "A-BFT leanght" يحدد مجال فتحات الABF.



الشكل (6) بنية عنصر التحكم لإطار DMG

تقترح هذه الطريقة استعارة جزء من البتات المحجوزة من B44 حتى B47 المبينة في الشكل واعمالها كفتحات اضافية يشار لها بالحقن E-A-BFT length كما هو مبين في الشكل (7)



الشكل (7) الفتحات المضافة بعد الفتحات الرئيسية

سيقوم المستخدمون باختيار أحد الفتحات من 0 حتى $1 - A-BFT\ length$ E-A-BFT length

ثم اقترحت اضافة فترة عودة ثانية (Secondary Backoff) لزيادة امكانية الوصول الناجح عبر اضافة فترة انتظار ثانية في حال حدوث تصادم ثاني بين جهازين في نفس الفتحة .

تختار كل محطة STA بالدخول عند مرحلة A-BFT عشوائياً فتحة A-BFT و تختار مؤقت عودة عشوائي داخل كل فتحة A-BFT ، أي مؤقت عودة ثانوي . Secondary Backoff في بداية A-BFT المحدد وبالتالي و بدلاً من إرسال إطارات SSW لتنفيذ R-TXSS على الفور ، يبدأ EDMG STA العد التنازلي حتى يصل مؤقت التراجع الثانوي إلى الصفر ، وبالتالي وحتى لو تم اختيار نفس الفتحة فعلى الأغلب لن تكون مؤقتات التراجع الثانوية الخاصة بكل محطة هي نفسها . نتيجة لذلك ، فإن EDMG STA صاحبة زمن تراجع ثانوي أقصر سترسل إطارات

SSW أولاً، وبالتالي يمكن تجنب الاصطدام. وفي حال اختيار نفس زمن العودة الثانوي وحدث تصادم آخر سيتم زيادة هذا الزمن وإعادة المحاولة من جديد .

7- تحسين الوصول العشوائي في بروتوكول IEEE802.11ad عبر إضافة فتحات إضافية بعد الفتحات الأساسية (BA-BFT):

اقترحت طريقة أخرى في [6] لزيادة عدد الفتحات في A-BFT عبر إضافة فتحات إضافية قبل الفتحات الرئيسية كما هو مبين في الشكل وذلك عبر استعارة فتحات من مرحلة BTI ، وتمكن هذه الطريقة من إضافة عدد أكبر من الفتحات ؛ حيث لن نكون مقيدين بالعدد المحدود للبتات المحجوزة في الطريقة السابقة.

يجب تحقيق التوافق مع IEEE802.11 ad القياسية عبر ضبط حقل الفترة الزمنية ليتلائم مع الفتحات الإضافية.



الشكل (8) الفتحات الإضافية قبل الفتحات الرئيسية

8- النتائج:

سنجري الآن محاكاة لهذه الطرائق الثلاثة من أجل نفس البارامترات المستخدمة عند إجراء المحاكاة من أجل بروتوكول IEEE802.11 المذكورة سابقاً ومع أخذ عدد فتحات إضافية مساوي لـ 8 من أجل طريقة SBA-BFT وعدد فتحات إضافية مساوي لـ 16 من أجل طريقة BF

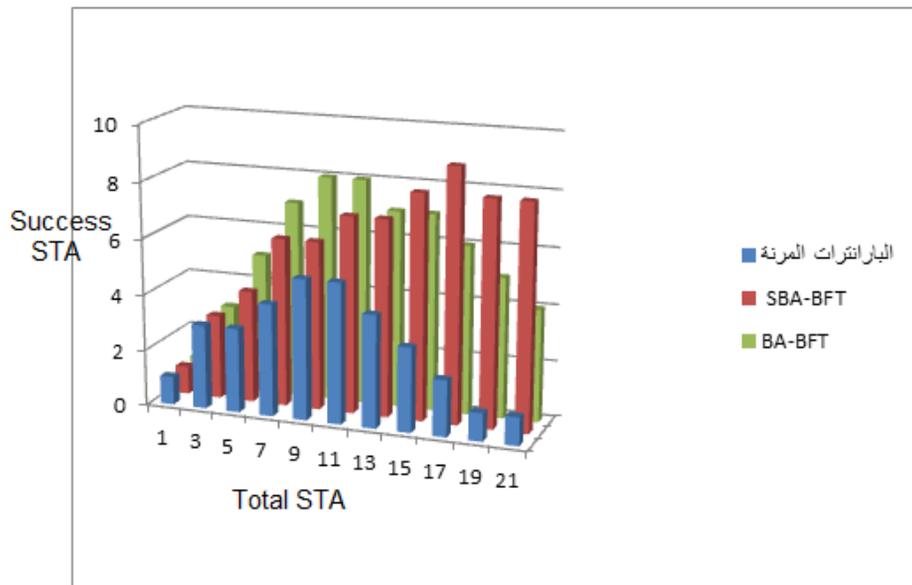
نلاحظ من الشكل (9) أن طريقة البارامترات المرنة قد زادت من عدد الأجهزة التي تمكنت من الوصول الناجح في مرحلة A-BFT بشكل بسيط عن حالة بروتوكول IEEE802.11ad ولكننا تراجعنا عند ازدياد عدد الأجهزة الكلي

بينما تمكنت طريقة SBA-BFT من زيادة عدد الأجهزة التي تمكنت من الوصول الناجح حيث بلغ العدد 9 أجهزة من أجل عدد كلي يبلغ 17 جهاز وتراجع عدد أجهزة الوصول الناجح الى 8 من أجل 21 جهاز كلي

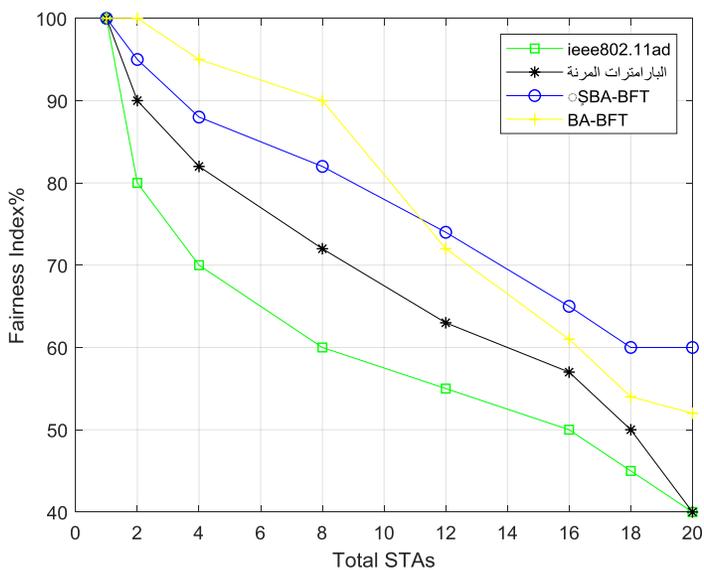
بينما قدمت طريقة BA-BFT أفضل أداء من أجل عدد مستخدمين كلي أقل من 11 حيث أمّنت الوصول الناجح لـ 8 لأجهزة ولكن تراجع أداء مع زيادة عدد المستخدمين.

سنحسب الآن معامل العدالة Fairness Index وفق نفس المعيار المعتمد عندما تم حسابه من أجل حالة بروتوكول IEEE802.11ad ونرسم علاقته مع العدد الكلي للأجهزة في الشكل (10) ونلاحظ من الشكل أن طريقة BA-BFT تقدم أداء أفضل من أجل عدد أجهزة أقل من 10 بينما تقدم طريقة SBA-BFT الأداء الأفضل عند زيادة العدد الكلي للمحطات لأكثر من 10 .

دراسة تحسين الوصول العشوائي في بروتوكول IEEE802.11 ad لملائمة زيادة عدد المستخدمين في تطبيقات انترنت الأشياء



الشكل (9) عدد الأجهزة الواصلة بنجاح مقابل عدد الاجهزة الكلية من أجل الطرائق الثلاث المدروسة



الشكل (10) معامل العدالة مقابل عدد الأجهزة الكلي من أجل الطرائق المدروسة

9- المراجع:

- [1] "IEEE Standard for Information technology– Local and metropolitan area networks– Specific requirements– Part 15.3: Amendment 2: Millimeterwave-based Alternative Physical Layer Extension," IEEE Std 802.15.3c- 2009 (Amendment to IEEE Std 802.15.3-2003), pp. 1–200, Oct 2009.
- [2] "ISO/IEC/IEEE International Standard for Information technology– Telecommunications and information exchange between systems– Local and metropolitan area networks–Specific requirements-part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 3: Enhancements for Very High Throughput in the 60 GHz Band (adoption of IEEE Std 802.11ad-2012)," ISO/IEC/IEEE 8802-11:2012/Amd.3:2014(E), pp. 1– 634, March 2014
- [3]] Pei Zhou, Kaijun Cheng, Xiao Han, Xuming Fang, Yuguang Fang, Rong He, Yan Long, and Yanping Liu;" IEEE 802.11ay based mmWave WLANs: Design Challenges and Solutions" , DOI 10.1109/COMST.2018.2816920, IEEE Communications Surveys & Tutorials ,2018.
- [4] S. G. Kim *et al.*, "On Random Access in A-BFT," IEEE 802.11 Documents, Jul. 2016. [Online]. Available: https://mentor.ieee.org/80211/documents?is_dcn=SSW&is_group=00ay
- [5] P. Zhou, X. Fang, Y. Fang, Y. Long, R. He and X. Han, "Enhanced Random Access and Beam Training for Millimeter Wave Wireless Local Networks With High User Density," in *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 16, no. 12, pp. 7760-7773, Dec. 2017, doi: 10.1109/TWC.2017.2753779.
- [6] K. Johnsson *et al.*, "Scalable A-BFT," IEEE 802.11 Documents, Sep. 2016. [Online]. Available: https://mentor.ieee.org/802.11/documents?is_dcn=SSW&is_group=00ay.

