

IEEE 802.15.4 Wireless sensor networks life prolonging using dynamically scheduled sink movement

Dr. Jamal Khalifeh^{*}
Dr. Muen Yones^{**}
Shaza Jar'aa^{***}

(Received 12 / 9 / 2017. Accepted 26 / 12 / 2017)

□ ABSTRACT □

Wireless sensor networks (WSNs) are made up of energy-constrained sensing devices capable of delivering the sensed data to one or more sinks. In a typical WSN scenario, the sink usually keeps stationary among the sensors that are static as well.

The study and analysis of the performance of these networks is based on a variety of models that vary according to the network and the different factors that determine performance evaluation. The use of the Graph theory gives great flexibility in such cases, particularly when the complexity of the problem is increased using mobile sinks to achieve multiple objectives, including extending the life of the network. In addition, because of the importance of the management of energy consumption and its direct impact on the network lifetime prolonging, this research trend aims at proposing energy-efficient algorithm where the mobility of the sink is exploited for maximizing the lifetime of the network. It focused on suggestion and testing algorithm to move the sink based on the formulation of a graphical model takes into account the factors, which affect the movement of sink, and ensure the network lifetime prolonging.

The implementation of the proposed algorithm have been tested for ZigBee based wireless sensors networks with a mobile sink through intensive simulations using NS-2 simulator. Where the results proved the feasibility of the mobile sink approach by demonstrating the improved network lifetime in several deployment scenarios.

Keywords: WSN, mobile sink, ZigBee, energy consumption, network lifetime prolonging.

^{*}Professor, Communication & Electronic Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

^{**} Professor, Communication & Electronic Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

^{***} Postgraduate student, Communication & Electronic Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

إطالة عمر شبكات الحساسات اللاسلكية المعتمدة على المعيار IEEE.802.15.4 بالجدولة الديناميكية لحركة المنسق

د. جمال خليفة*

د. معين يونس**

شذا جرجا***

(تاريخ الإيداع 12 / 9 / 2017. قُبِلَ للنشر في 26 / 12 / 2017)

□ ملخص □

تتكون شبكات الحساسات اللاسلكية (WSN) من أجهزة تحسس محدودة الطاقة قادرة على إيصال البيانات المحسوسة إلى واحد أو أكثر من المنافذ. يكون المنسق ثابتاً عادة في سيناريو WSN نموذجي بين أجهزة تحسس ثابتة كذلك.

تستند الدراسة والتحليل لأداء هذه الشبكات إلى مجموعة متنوعة من النماذج التي تختلف وفقاً للشبكة والعوامل المختلفة التي تحدّد تقييم الأداء. يعطي استخدام نظرية البيان مرونة كبيرة في مثل هذه الحالات، لاسيما عندما يتم زيادة تعقيد المشكلة باستخدام المنسقات المتنقلة لتحقيق أهداف متنوعة، بما في ذلك إطالة حياة الشبكة. إضافة لذلك ونظراً لأهمية استهلاك الطاقة وتأثيرها المباشر على إطالة عمر الشبكة، يتجه هذا البحث إلى اقتراح خوارزمية فعالة من حيث الطاقة حيث يتم استغلال حركة المنسق لتحقيق أطول عمر للشبكة، وركّزت الدراسة على اقتراح واختبار خوارزمية لنقل المنسق على أساس صياغة نموذج بياني يأخذ بالحسبان العوامل التي تؤثر على حركة المنسق، بما يضمن إطالة عمر الشبكة.

وقد تم اختبار تنفيذ الخوارزمية المقترحة من أجل شبكة WSN تستخدم ZigBee لتوصيل أجهزة شبكة الحساسات اللاسلكية مع المنفذ المتحرك وذلك من خلال المحاكاة باستخدام المحاكى NS-2. حيث أثبتت النتائج جدوى طريقة تحريك المنفذ من خلال إظهار الزيادة في عمر الشبكة في العديد من سيناريوهات نشر الشبكة

الكلمات المفتاحية: شبكات الحساسات اللاسلكية، منسق متحرك، ZigBee، استهلاك الطاقة، إطالة عمر

الشبكة

* أستاذ - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - سورية.

** أستاذ - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - سورية.

*** طالبة دكتوراه - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - سورية.

مقدمة

تتكون شبكة الحساسات اللاسلكية من عدد كبير من عقد التحسس، وعقدة واحدة مركزية أو أكثر. تُنشر أجهزة هذه الشبكة في البيئات المادية المختلفة أساساً لجمع بيانات محددة من العالم المحيط. يتم نقل البيانات إلى العقد المركزية، لتجميعها وتحليلها أو إرسالها إلى النظام المركزي. تلعب العقد المركزية في مثل هذه الحالة دور مدير الشبكة، ويتم التواصل بين العقد لاسلكياً، ولهذا فإن المرسل/المستقبل اللاسلكي هو جزء أساسي من العقد يؤخذ بالحسبان عند تحليل أداء هذه الشبكات وحساب استهلاكها للطاقة وبالتالي حساب عمرها.

تتصف النماذج المقترحة للتعامل مع هذه الشبكات أثناء تحليل أدائها ببعض الخصائص الأساسية

ومنها [1-3]:

- عدد العقد المركزية قليل مقارنة بعدد العقد الأخرى.
- جميع العقد منخفضة التكلفة نسبياً، تقوم بأداء عملية حسابية محدودة نسبياً. وتقوم بوظيفة رئيسية في النظام وهي جمع البيانات الأساسية، وإرسالها إلى المنسقات، مع أو بدون بعض المعالجة الأولية البدائية.
- تقوم بعض العقد بإعادة إرسال البيانات الواردة إليها من العقد الطرفية إلى العقد الرئيسية، وتسمى هذه العقد مكررات أو موجّهات. وسيتم اعتماد تسمية الموجّهات في باقي صفحات البحث.
- تقوم المجمعات، التي تسمى منسقات أو منافذ، بلعب دور الإدارة وجمع البيانات من جميع العقد الأخرى، وتقوم بتحليلها أو معالجتها. لذلك فهي تمتلك مكونات مادية وبرمجية للمعالجة تجعل هذه العقد أكثر تكلفة وأكثر استهلاكاً للطاقة من العقد العادية ولذلك يتم تزويدها بمنابع دائمة للطاقة أو بمصادر قابلة لإعادة الشحن أو التبديل. ويكون عدد هذه العقد مرتبطاً بمجموعة من العوامل ك نطاق التغطية الجغرافية وكثافة البيانات المنقولة وفعالية الشبكة وتكلفتها. وسيتم اعتماد تسمية المنافذ في بقية صفحات البحث أيضاً.

- يلعب تنظيم وإدارة المنافذ دوراً أساسياً في تصميم وبناء هذه الشبكات [4-11].

يتم الاعتماد في دراسة وتحليل أداء هذه الشبكات على مجموعة من النماذج التي تختلف باختلاف الشبكة واختلاف العوامل التي تحدد تقييم الأداء. ويعدّ استخدام البيان graph واحداً من أهم نماذج تمثيل مثل هذا النوع من الشبكات وذلك بالنظر إلى الشبكة على أنها تشكل بيانا $G=(V,E)$ ، حيث تمثل V عقد التحسس، وتمثل E الحواف أي الوصلات بين هذه العقد. وقد اعتمد هذا النموذج في العديد من الأبحاث [12-14] لدراسة وتحليل وتصميم شبكات الحساسات اللاسلكية. ويعطي استخدام هذا النموذج في الشبكات الثابتة ذات المنافذ الثابتة تمثيلاً دقيقاً للشبكة المعنية [13]. ولكن مع زيادة تعقيد الشبكة بتحريك عناصرها، كما في حالة تحريك المنسقات بهدف إطالة عمر الشبكة، أو بأي هدف آخر كزيادة الفعالية في تجميع المعلومات ومعالجتها وتحليل أداء الشبكة، فإن هذا النموذج يعاني في شكله المستخدم من عيوب تظهر واضحة بعدم قدرة هذا النموذج على التعبير الشامل عن هذه الشبكة وتضمين محدداتها المتغيرة كحركة المنسق وما يرتبط به من قيم متعلقة بالأداء. لذلك اتجهت الأبحاث إلى الاعتماد على نماذج مطورة من هذا النموذج بما يجعله شاملاً للتغيرات الديناميكية الناتجة عن حركة المنسق وتأثيرها على أداء الشبكة ككل. سيتم في هذا البحث دراسة حركة المنفذ واقترح خوارزمية لإطالة عمر الشبكة اعتماداً على نظرية البيان بما يسمح بتضمين حركة المنسقات في نموذج البيان الممثل للشبكة.

أهمية البحث وأهدافه

تتبع أهمية هذا البحث من الدور الأساسي الذي يلعبه توفير الطاقة اعتماداً على إدارة وتحريك عناصر شبكة الحساسات اللاسلكية في إطالة عمر هذه الشبكة. ويهدف إلى اقتراح نموذج لشبكة الحساسات اللاسلكية يعتمد على تمثيلها بشكل بيان مع وضع توصيف رياضي عام لهذا البيان، ليساهم في تحديد العوامل والبارامترات المرتبطة بهذه العوامل، والتي تؤثر في زمن حياة شبكة الحساسات اللاسلكية، ومن ثم، وبالاعتماد على ذلك، استنتاج واختبار خوارزمية لإدارة حركة منسق الشبكة بشكل ديناميكي بما يؤدي إلى توفير استهلاك الطاقة في العقد وبالتالي إطالة عمر هذه الشبكة.

طرائق البحث ومواده

تعتمد طريقة البحث على دراسة نماذج توصيف شبكات الحساسات اللاسلكية باستخدام البيان واقتراح توصيف رياضي اعتماداً على ذلك واستنتاج خوارزمية لإدارة حركة المنسقات في الشبكة بهدف إطالة عمرها. ومن ثم اختبار هذا النموذج بإجراء المحاكاة في ظروف عمل مشابهة لعمل الشبكة، بما يؤمن إطالة عمر الشبكة وسيتم ذلك من خلال:

- دراسة موقع البحث ضمن الأبحاث التي تعنى بإطالة عمر الشبكة من خلال الإدارة الفعالة لحركة المنسق.
- القيام بالتوصيف الرياضي لحركة المنسق وجدولة هذه الحركة باستخدام آليات تعتمد على بارامترات التوصيف الرياضي المقترح.
- اختبار الآليات المقترحة من خلال وضع سيناريوهات مناسبة وتشغيل نموذج المحاكاة لكل سيناريو اعتماداً على المحاكى الشبكي NS-2.
- استخلاص النتائج والتوصيات.

علاقة البحث بالأبحاث المماثلة

تتجه الكثير من الأبحاث حالياً إلى الاعتماد على تغيير بنية شبكات الحساسات اللاسلكية ديناميكياً بتغيير طريقة ارتباط عناصرها ببعضها البعض بما يحسن أداء هذه الشبكات. ويعدُّ زمن حياة هذه الشبكات من أكثر المواضيع أهمية لارتباطه بشكل مباشر بمصادر الطاقة المحدودة لمكونات هذه الشبكات.

يشكل استهلاك الطاقة بشكل غير متوازن في شبكات الحساسات اللاسلكية أحد أهم الأسباب التي تؤثر بشكل سلبي على زمن حياة هذه الشبكات، إذ أن نفاذ طاقة بعض العقد بشكل أسرع من غيرها يؤدي إلى توقف هذه العقد عن العمل وبالنتيجة يؤدي إلى انخفاض أداء هذه الشبكات، وقد يؤدي إلى توقف هذه الشبكات عن العمل بشكل كامل على الرغم من أن العقد الأخرى مازالت تعمل بشكل فعال. وهناك عدد من الأساليب التي اعتمدت مجموعة من الخيارات لحل هذه المشكلة تعتمد على تصنيف حركة المنفذ. هناك ثلاثة أنماط لحركة المنفذ [15]:

الحركة العشوائية: حيث لا يمكن التنبؤ بمسار المنفذ الذي يثبت على جسم متحرك بشكل غير منضبط في السرعة والاتجاه والزمن كحيوان في غابة. ويمكن الاعتماد على مثل هذا النمط حين لا يشكل التأخير الزمني مشكلة أو عائقاً يؤثر على دقة البيانات المستقبلية من الشبكة [16]، وهي تنطبق بوجه خاص في الحالات التي لا تعرف فيها كيفية نشر العقد.

الحركة وفق مسار ثابت يمكن التنبؤ به: وهو الأبسط بين أنماط التنقل الثلاثة حيث يتبع المنفذ دائماً مساراً محدداً مسبقاً، ويمكن للعقد الحساسة أن تتوقع مرور المنسق وزمن بقاءه ومعدل استقباله للبيانات [15] ويمكن استخدام مثل هذا النمط في تطبيقات محددة يكون فيها توزع الشبكة وبنيتها معروفان.

الحركة التي يمكن التحكم بمسارها [17]: يكون لدى مراقب الشبكة أو الشبكة ذاتها إمكانية التحكم بمسار وسرعة حركة المنسق ويمكن الاستفادة بشكل عام من المعلومات التي يتم الحصول عليها من الشبكة لقيادة حركة المنسق [18] اعتماداً على هدف التطبيق، إذا كان الهدف هو إطالة عمر الشبكة، يُحرك المنسق نحو المناطق الغنية بالطاقة لتحقيق الاستخدام المتوازن لاحتياطي الطاقة في العقد. وبالمثل، في التطبيقات التي يكون فيها وقت تسليم الرسائل أمراً بالغ الأهمية، يتحرك المنسق باتجاه مناطق الإبلاغ عن الأحداث لتقليل الاتصالات متعددة الفقرات [19, 20].

اعتمدت الأبحاث [5,6] على تحريك المنسقات في الشبكة مع ضمان إعادة تشكيل الشبكة بشكل ديناميكي بما يؤمن نقل المعطيات إلى المنافذ ضمن شروط استهلاك الطاقة الأمثل، ولكن عيب هذه الطرائق هو غياب النموذج الرياضي للشبكة الديناميكية وقد انعكس ذلك بشكل مباشر على تعقيد التصميم البرمجي لهذه الحلول.

يعتمد البحثان [21, 22] على نظرية البيان وذلك بإنشاء مجموعة مهيمنة *Dominating Set* وهذه المجموعة تؤسس لناقل أساسي افتراضي بين العقد. ويرافق هذه الطريقة تعقيد في الخوارزميات في ظل غياب توصيف رياضي دقيق للبيان ككل وللمجموعات المهيمنة. كما اعتمد البحث [23] على توصيف الشبكة كبيان ولكنه لم يدخل محددات المسار في العلاقات الرياضية وأدى ذلك إلى تعقيد الخوارزميات التي استخدمها لتحديد المسار الافتراضي للمنفذ بين مجموعة من العقد التي تشكل ناقلاً لاسلكياً أساسياً.

اعتمد البحث [8] على تحريك المنفذ وتم اختيار مجموعة من المحددات التي تقيد حركة المنفذ ولكنها لا تعتمد على حسابات رياضية أيضاً مما قلل من مرونة الخوارزميات المستخدمة وانعكس ذلك على تعقيد الحلول البرمجية المتبعة لتحقيق الحل الرياضي. بينما اعتمد البحث [24] على نظرية البيان في تحديد الشبكة رياضياً ولكنه أبقى عوامل تغير موقع المنفذ خارج التوصيف الرياضي العام للبيان مما أدى إلى ضرورة استخدام نموذج رياضي مختلف لكل بنية شبكية محددة بما يتناسب مع التطبيق ومع حركة المنفذ.

قام الباحثون في [25] بوضع نموذج أعم للبيان اشتمل على توصيف تأثير الطاقة المتبقية في عقد الشبكة. وشكل التوصيف الرياضي في هذا البحث نموذجاً عاماً وشاملاً يمكن استخدامه في الحصول على إطالة عمر شبكات الحساسات اللاسلكية من خلال إدارة حركة المنسقات بناءً على قيمة بارامتر الطاقة الذي تم توصيفه رياضياً في العلاقة التي تم التوصل إليها. إلا أن الاعتماد على مؤشر الطاقة لإدارة حركية المنسقات لا تعبر دائماً عن الحالة الديناميكية المطلوبة من أجل الحصول على زمن الحياة الأفضل. إن الطاقة المتبقية وعلى الرغم من أهميتها كمعيار لتقييم زمن حياة الشبكة إلا أن الاعتماد عليها، بشكل منفرد دون غيرها، قد يقود إلى استنتاجات خاطئة بشأن عمر الشبكة. من المؤكد أن إرسال واستقبال العقد من بعضها لا يعتمد فقط على الطاقة المتبقية، فانخفاض الطاقة في العقدة تحت حد معين يؤثر على المجال الذي يصل إليه إرسال العقدة. ولكن من المعروف أيضاً أنه في الشبكات المنشورة عشوائياً قد تمتلك عقدة ما طاقة عظمى ولكنها لا تستطيع أن ترسل إلى عقدة في الجوار ضمن تشكيلة ما للشبكة بسبب البعد. فنخرج العقدة أو مجموعة العقد من العمل على الرغم من أنها تمتلك طاقة متبقية كبيرة. يضاف إلى ذلك أنه قد ينقطع الإرسال ضمن الشبكة لأسباب أخرى غير متعلقة بالطاقة كما في حالة تواجد عائق لفترة تطول أو تقصر في منطقة

توجد عقدة ما أو أكثر كتحرك جسم ما بجانب العقدة بشكل يعيق إرسالها المنتظم إلى العقدة التالية وفقاً لتشكيلة الشبكة الحالية. وفي هذه الحالة وعلى الرغم من أن مؤشر الطاقة لم ينخفض دون الحد المسموح، إلا أن الشبكة لا تقوم بأدائها بالشكل اللازم مما يدفع بالضرورة إلى تغيير بنية الشبكة من خلال تغيير موقع المنسقات. لذلك فقد تم في هذا البحث اقتراح توصيف رياضي يعتمد على نظرية البيان كما في الأبحاث المذكورة ولكنه يعتمد على النماذج المتشكلة بفعل تغيير المنافذ لموقعها وزمن مكوثها في كل موقع، إضافة إلى الطاقة المتبقية في الشبكة. ومن ثم اقتراح خوارزمية أخرى لتحريك المنفذ تؤمن زمن حياة أطول للشبكة.

نموذج شبكة الحساسات اللاسلكية القابلة لإعادة التشكيل

1 النموذج البياني لشبكات الحساسات اللاسلكية بشكل عام

تتصل عقدة التحسس مع عقدة أخرى لاسلكياً، وحين تستدعي الحاجة إلى التواصل بين عقدتين لا يقعان في مجال البث اللاسلكي لبعضهما فإن ذلك يتم عن طريق عقدة واحدة وبسيطة أو أكثر تقوم بدور التكرار أو التوجيه. حيث يبين الشكل (1) كيفية تمثيل البيان لمثل هذه الشبكات. حيث يوجد وصلة "حافة" بين كل عقدتين إذا كانتا في مجال البث اللاسلكي كل منهما للأخرى [26].

2 النموذج البياني لشبكات الحساسات اللاسلكية القابلة لإعادة التشكيل

تتغير العلاقة بين العقد ومسارات توصيل المعطيات في مثل هذا النوع من الشبكات كلما أعيد تشكيلها. وهي تأخذ عدداً من البنى والتشكيلات التي تحدها مجموعة من البارامترات تؤثر فيها. ويمكن صياغة نموذج الشبكة القابلة لإعادة التشكيل بشكل عام من خلال علاقة ذات ثلاثة محددات تحدد نموذج الشبكة N [26] كما يلي:

$$N = (G_s, B_n, C), \quad (1)$$

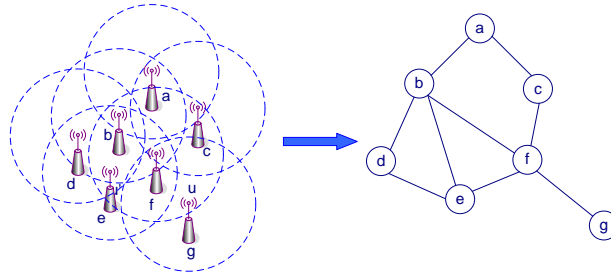
حيث:

$G_s = (V_s, E_s)$: شبكة يمكن تمثيلها على شكل بيان graph مكون من أضلاع (وصلات) E_s ورؤوس (عقد)

V_s .

و $B_n = \{G_n(k), k \in V_s\}$ مجموعة نماذج البيانات الشبكية الممكنة، حيث أن كل عنصر فيها هو إمكانية

محددة لتشكيل الشبكة k بحيث تتشكل عقدة هذه الشبكة من رؤوس البيان V_s .



الشكل (1): مثال على الحساسات الموزعة عشوائياً، والبيان الممثل لها.

$C = \langle \langle c_1, t_1 \rangle, \langle c_2, t_2 \rangle, \dots, \langle c_q, t_q \rangle \rangle$: سلسلة تعبر حدودها $\langle c_q, t_q \rangle$ عن المعاملات التي تصف تحرك

المنفذ وتوضعه في مواقع مختلفة، حيث c_i هو رقم التشكيل و t_i الزمن الذي يستمر فيه استخدام هذا التشكيل. وتأخذ الشبكة تشكلاً مختلفاً كلما تغير موقع المنفذ.

يتألف البيان G_s من مجموعة من الرؤوس (العقد) $V_s = \{1, 2, \dots, m\}$ ومجموعة من الأضلاع $E_s: E_s \subseteq V_s \times V_s$

V_s حيث تعطينا V_s مجموعة الإمكانات التي يمكن أن تتواجد فيها عقد الشبكة أو الحالات التي يمكن تشكيلها وفقاً

3 حساب استهلاك الطاقة وعمر العقد WSN

تعدّ أية عقدة في شبكة WSN حية طالما أنها تقرأ قيم التحسس، وتقوم بالحسابات اللازمة وتنقل البيانات في الشبكة بشكل مرضٍ. لذلك عند تصميم وتركيب الشبكة من المهم أن نستطيع أن نقدر مسبقاً الوقت التقريبي لكل عقدة قبل وصولها إلى نقطة حيث سيكون من الضروري استبدال البطاريات أو اعتبار العقدة ميتة. تحقيقاً لهذه الغاية، من المهم أن نفهم ما هي العوامل التي تؤثر على طول الفترة الزمنية من عمر البطارية. ومن المعروف أن استهلاك الطاقة في عقد الشبكة يعتمد على العوامل التالية التي يجب أن تؤخذ في الحسبان عند نمذجة WSN:

- ميزات الأجهزة (سعة البطارية واستهلاك المتحكم والمرسل والمستقبل، وأجهزة التحسس والمكونات الإلكترونية الأخرى).

- آلية ومعدل جمع البيانات ونقلها، وهذا يتوقف على التطبيق، ففي أنظمة مراقبة المناخ والرصد البيئي يكفي جمع المعلومات حول بارامترات محددة، مثل درجة الحرارة أو الرطوبة، كل بضعة ثوانٍ أو عشرات الثواني. ونتيجة لذلك، تكون العقدة معظم الوقت في وضع السكون. أما في تطبيقات مثل نقل الصوت فإن الأمر يتطلب معدل البيانات عالية، ما يستبعد فعلياً إمكانية العثور على عقد تكون في وضع الطاقة المنخفضة.

- طبيعة الوصلات الفيزيائية وآليات التحكم في الوصول إلى الوسط، فلا يمكن مثلاً في وضع العمل غير المتزامن في حالات مثل CSMA / CA [28]، أن تكون المرسلات في وضع السكون، وإلا فإن العقد لن تكون قادرة على نقل البيانات الخاصة بها. بينما يتميز الوصول المتزامن إلى الوسط بأن العناصر يمكن في بعض الوقت أن تكون في وضع الطاقة المنخفضة، حيث يتم تنسيق عمل الشبكة بالكامل من قبل إطارات المزامنة الخاصة، ومع ذلك، فإن هذا النمط من الصعب تنفيذه في الشبكات الموزعة التي تستخدم العشرات أو المئات من أجهزة التوجيه.

- بنية الشبكة التي تحدد كمية المعلومات التي تتدفق من خلال كل عنصر إذ تستخدم شبكات WSN بنى بسيطة (نجمة، حلقة، شجرة)، وبنى خلوية أكثر تعقيداً.

- بروتوكول التوجيه المستخدم الذي يحدد فترة تخزين معطيات التوجيه في الذاكرة وآلية تحديثها. سيتم الآن العمل على بحث أكثر العوامل تأثيراً على زمن حياة العقد الطرفية والموجهات باعتبار أن المنافذ إما موصولة إلى مصدر طاقة دائم أو أنها مزودة بمصدر طاقة يضمن استمرار حياتها فترة أطول بكثير من بقية العقد مع الأخذ بالحسبان ما يلي:

- يرتبط نظام عمل العقد بشكل كبير بمجموعة من الظروف الخارجية التي يمكن توقعها رياضياً.
- لا يمكن أن يتم إعادة شحن البطارية وفي هذه الحالة فإننا عند حساب زمن حياة العقدة ننتقل من الطاقة الابتدائية للبطارية E_0 الطاقة الأولية واستهلاك العقدة P_i وفقاً للمعادلة المعروفة [26-27]

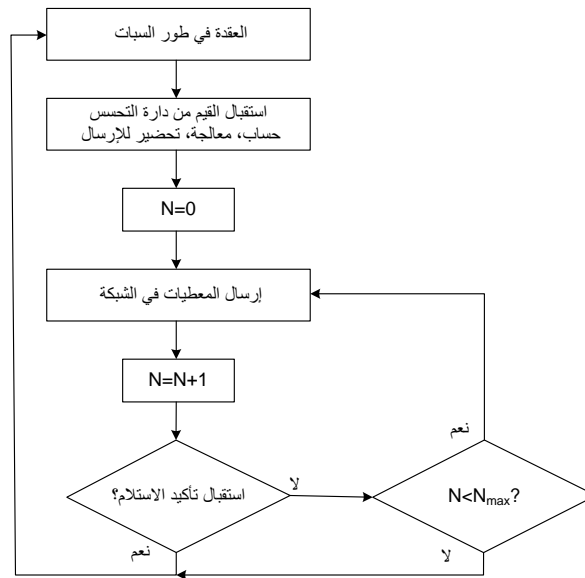
$$t = \frac{E_0}{P} \quad (3)$$

3-1 زمن حياة العقد الطرفية

تختلف العقد الطرفية عن الموجهات في كونها لا تستطيع تمرير معطيات العقد الأخرى من خلالها إلى الشبكة. وسواء عند استخدام النموذج المقاد بالحدث أو النموذج الجدول للنقل فإن استهلاك الطاقة في العقدة بعوامل ترتبط بظروف وخوارزمية تشغيلها، ويمكن صياغة علاقة استهلاك الطاقة للعقدة بالشكل:

$$P_{ed} = \frac{P_f t_f + P_a t_a + P_s (t_c - t_f - t_a)}{t_c} \quad (4)$$

حيث:

 t_c - مدة دورة واحدة من عمل العقدة بالثانية. P_f - متوسط الاستطاعة خلال إرسال المعطيات وما يليه من استقبال رسالة التأكيد بالواط. t_f - الوقت المستغرق لنقل البيانات واستقبال التأكيد بالثانية. P_a - استهلاك الطاقة في وضع معالجة البيانات قراءة وإظهارا بالواط. t_a - الوقت الذي استغرقت العقدة للقراءة من أجهزة التحسس، مع التجهيز والتحضير لنقلها بالثانية. P_s - استهلاك الطاقة في وضع السكون بالواط.ويمكن الانطلاق من أن $t_a + t_f < t_c$ ، أي أن العقدة لديها ما يكفي من الوقت للدخول في وضع النوم. وأن قيمة P_s و P_a في العلاقة (4) هي مستمرة وهي التي تحدد مواصفات الأجهزة.

الشكل (3): الشكل المقترح لخوارزمية عمل العقدة الطرفية

تعتمد t_a على خصائص وحدة المعالجة المركزية، وأجهزة التحسس وتعقيد تنفيذ البرنامج وخوارزمية معالجة البيانات. كما يعتمد الوقت t_f والاستطاعة p_f على معيار البث اللاسلكي المستخدم، وحجم نقل البيانات، فضلاً عن احتمال وجود أخطاء في الإرسال. ويقترن النقل عبر قناة لاسلكية، في الممارسة العملية، دائماً مع خسارة محتملة سواء خلال نقل إطار من المعطيات، أو نقل رسالة تأكيد. ونتيجة لذلك، يضطر الجهاز لبدء واحدة أو أكثر من عمليات إعادة إرسال، مما يؤدي إلى تأخير الانتقال إلى وضع النوم أو السكون. وهنا لابد من إدخال بارامتر إضافي er يعبر عن احتمال الأخطاء في الإرسال. وإذا افترضنا أن احتمال الخطأ في إرسال الرزمة $(n+1)$ مستقل عن عدد الإرساليات السابقة n ، نحصل على أن احتمال نجاح الإرسال من المرة الأولى هو $(1 - er)$ ومن المرة الثانية $(1 - er)^2$ ، ومن المرة n هو $er^{n-1}(1 - er)$. وبالنظر إلى أن الحد الأقصى لعدد الإرسالات عادة ما يكون مقتصرًا برمجياً على قيمة معينة من N ، نحصل على صيغة لمتوسط الوقت في نقل إطار في إعادة الإرسال:

$$t_{\text{real}} = t_f \left[(1 - er) \sum_{i=1}^{N-1} ier^{i-1} + N \cdot er^{i-1} \right] \quad (5)$$

حيث:

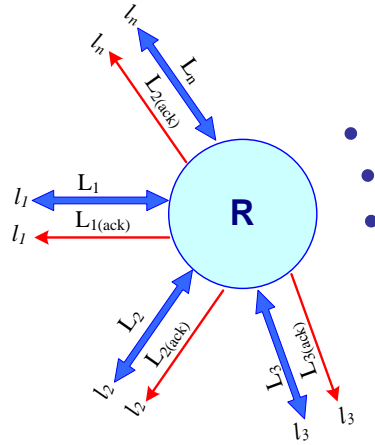
t_f : زمن نقل التأكيد دون تكرار

N : الحد الأقصى لتكرار الإرسال في حال الخطأ ، $N = 1,2,3,\dots$

يعتمد البارامتر er على عوامل خارجية مثل نسبة الإشارة إلى الضجيج وعلى عوامل داخلية مثل بنية الشبكة ونوع البروتوكولات المستخدمة في الوصول إلى الوسط وغيرها، وقد تمت تغطية هذه العوامل في البحث [28] لذلك لن يتم الدخول في تفاصيل حسابها. وسيتم استخدامها في المحاكاة وفق نتائج الحساب في البحث المذكور. وقد أخذ في الحسبان في الخوارزمية المبينة في الشكل (3) إمكانية إعادة الإرسال في حال فشله لعدد من المرات أقل من عدد محدد يتم تحديده برمجياً حسب كل تطبيق .

2-3 حساب الطاقة المصروفة في الموجه

من المعروف أن الموجهات في شبكات WSN، التي تعمل وفق الأحداث، باستخدام بروتوكولات الوصول غير المتزامن إلى الوسط هي عنق الزجاجة فيما يتعلق بعمر الشبكة [29]، حيث أنه لإيصال المعلومات حول الأحداث التي تحدث في كل مرة وفي الوقت المناسب يجب تمكين الموجه من العمل في وضع الإرسال والاستقبال. ويعتمد استهلاك الطاقة في الموجه إلى حد كبير على بروتوكول التوجيه المستخدم، الذي يحدد كمية المعلومات الفائضة التي يستخدمها وعلى الوقت الذي يصرفه على إنشاء وتحديث جداول توجيه الرسائل داخل الموجه. سيتم استعراض نموذج عمل الموجه مع الأخذ بالحسبان الإرسال المفيد فقط، أي بإهمال المعلومات الخدمية. وهذا يعني ضمناً غياب الإرسال المتعدد البث multicast أو البث العام broadcast. ينحصر في هذه الحالة دور الموجه في توجيه الرزم دون أن يغير في طبيعتها أو حجمها. بمعنى آخر فإن تغيير العناوين أو حساب قيمة المسارات لا يغير في حجم الرزم المرسل. ولا في توليد أطر تأكيد الاستلام.



الشكل (4): نموذج الموجه

بفرض أن الموجه يستقبل المعطيات على n مدخل من مداخله كما في الشكل (4). وبفرض أن كثافة المعلومات على المدخل هي I_i ومع ملاحظة أن الأطر الواردة إلى كل مدخل تمتلك نفس الطول L_i . عند ذلك فإن هذه

الأطر ستتكرر على المخارج وسيضاف إليها أطر تأكيد الاستلام التي يتم توجيهها في نفس المسارات التي تم الاستقبال من خلالها.

في هذه الحالة سيكون الزمن الذي يستغرقه الموجه للاستقبال على كافة منافذه:

$$t_{rx} = \sum_{i=1}^n t_{ri} l_i \quad (6)$$

t_{ri} - زمن استقبال الرزمة الواحد دون

احتساب رسائل التأكيد، وهو يعتمد على طول سلسلة المعطيات فيها L_i .

l_i - معدل التدفق للمدخل i .

أما زمن إرسال كل المداخل مع الأخذ بالحسبان رسائل التأكيد:

$$t_{tx} = \sum_{i=1}^n t_{ti} l_i + t_{ack} \sum_{i=1}^n l_i \quad (7)$$

حيث t_{ti} هو الزمن اللازم لإرسال

رزمة واحدة.

t_{ACK} - الزمن اللازم لإرسال رزمة تأكيد واحدة لكل إطار مستقبل. وهذا الزمن مستقل عن حجم الإطار المرسل.

وسيكون بإمكاننا التعبير عن الزمن الذي يستغرقه الموجه لمعالجة تدفقات الدخل

$$t_x = t_{rx} + t_{tx} = \sum_{i=1}^n t_{ri} l_i + \sum_{i=1}^n t_{ti} l_i + t_{ack} \sum_{i=1}^n l_i \quad (8)$$

في الحالة $t_x < 1$ ، أي عندما ينجح الموجه في معالجة تدفقات الدخل في الزمن المخصص. وباعتبار أن P_{tx}

هي الاستطاعة المتوسطة للموجه في حالة الإرسال، و P_{rx} هي الاستطاعة المتوسطة للموجه في حالة الاستقبال، و

P_{idle} هي الاستطاعة المتوسطة للموجه في حالة الانتظار، فإن الطاقة المستهلكة في الموجه في حالة الإرسال فقط

تكون:

$$(9)$$

$$E_{tx} = t_x P_{tx}$$

والطاقة المستهلكة في الموجه في حالة الاستقبال

$$E_{rx} = t_{rx} P_{rx} \quad (10)$$

أما الطاقة المستهلكة في الموجه في حالة الانتظار فتكون

$$E_{idle} = k_{idle} P_{idle} = (1 - t_x) P_{idle} \quad (11)$$

ونستطيع عندئذ التعبير عن الطاقة الكلية المستهلكة في الموجه بالعلاقة

$$E_r = E_{tx} + E_{rx} + E_{idle}, \quad (12)$$

تؤثر الاستطاعة P_{idle} على زمن حياة الموجه بشكل كبير، وتحدد قيمته خوارزميات عمل شبكة WSN

ويروتوكولاتها، فإذا كانت هذه الخوارزميات أو البروتوكولات تسمح بتشغيل العقدة في نظام الاستهلاك المنخفض في

فترة الانتظار فإن استهلاك العقدة في هذا الوضع سيكون قريباً من الاستهلاك في حالة النوم P_s .

4 مثال على حساب الاستطاعة المصروفة في الأجهزة:

ولتوضيح كيفية استهلاك الطاقة في العقد سيتم افتراض أن الشبكة تعتمد على أكثر المعايير انتشاراً في شبكات WSN وهو معيار IEEE 802.15.4 [29]. بمعرفة معدل توليد المعطيات f وطول الرزمة مقدراً بالبت L والطاقة المصروفة على إرسال بيت واحد والتي تتعلق بخصائص المرسل المستقبل. فإنه يمكن استخدام الصيغة المبسطة التالية للحساب والتي تستخدم من أجل حساب الاستطاعة اللازمة للإرسال بين عقدتين [29]:

$$P_t = E_{bit} * L * f. \quad (13)$$

وهي علاقة مبسطة لا تأخذ بالحسبان بروتوكول الوصول إلى الوسط أو إرسال رسائل التأكيد أو الضياعات الناجمة عن الضجيج وغيره من العوامل.

تُستخدم في المعيار IEEE 802.15.4 طريقة الولوج إلى الوسط [29] CSMA/CA. والتي تنص على أن العقدة، التي تريد أن ترسل، عليها أن تنتظر أولاً زمناً عشوائياً قبل أن تختبر مشغولية القناة. (Clear Channel Assignment – CCA). ويتحدد زمن الانتظار في المعيار IEEE 802.15.4 بالعلاقة [29]:

$$t_{wait} = R * aUnitBackOffPeriod. \quad (14)$$

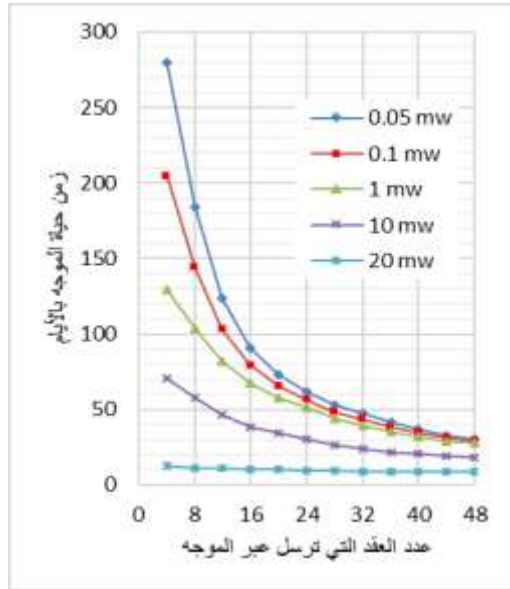
R : هو عدد صحيح يتم اختياره عشوائياً في كل مرة من المجال $[0 \sim 2^{BE} - 1]$ وحين لا يتم تحديد قيمة BE تعطى قيمة مساوية لـ 3 بشكل افتراضي. $aUnitBackOffPeriod$ هي قيمة ثابتة مساوية لزمن 20 رمز، حيث أن زمن الرمز الواحد في جميع معايير IEEE 802.15.4 العاملة في المجال 2.4 GHz مساو لـ 16 ميكروثانية. إذا كانت القناة خالية، يتم الإرسال، وإلا يتم تحديد وقت انتظار جديد. يكون زمن الانتظار في أسوأ الحالات، عند قيمة لـ $R=7$ مساو لـ 2.24 ميلي ثانية. ويحدد زمن الاستماع للقناة t_{CCA} بـ 128 ميكروثانية.

تمر العقدة عند إرسال كل إطار في أربعة مراحل وهي الانتظار WAIT الاستماع للقناة CCA إرسال الإطار DATA وتأكيد الاستقبال ACK. وقد تم بالاعتماد على العلاقات والبارامترات المتعمدة في المعيار IEEE 802.15.4 حساب زمن بقاء الأجهزة في كل مرحلة من أجل قيمتين لـ R ووضعها ضمن مخطط يعطي فكرة واضحة عن علاقتها بـ R ويبين الشكل (5) هذه الأزمان. ومن السهل الاستنتاج أن متوسط الاستطاعة في كل مراحل الإرسال

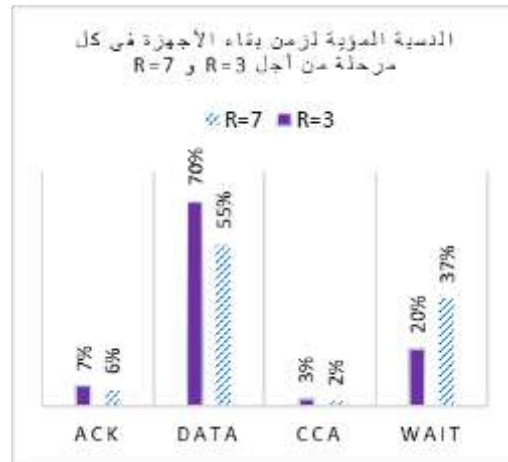
$$P_f = \frac{P_a t_{wait} + P_{rx} t_{CCA} + P_{tx} t_{data} + P_{arx} t_{ACK}}{t_f} \quad (15)$$

حيث

$$t_f = t_{wait} + t_{CCA} + t_{data} + t_{ACK}$$



الشكل (6): تبعية زمن حياة الموجه لعدد العقد التي يقوم بخدمتها حسب قيم متنوعة لـ P_{idle}



الشكل (5): زمن بقاء الأجهزة في كل مرحلة من أجل قيمتين لـ R في المعيار IEEE 802.15.4.

باعتبار أن لدينا نظام حقيقي يعمل وفق المخطط المبين في الشكل(2)، وزمن دخوله في الزمن الفعال t_c وفي هذه الحالة باعتبار أن المعالج يعمل بتردد f_{proc} وأن زمن العملية الواحدة يتطلب C دورة تشغيل ويلزم M عملية لإتمام القياس ومعالجة المعطيات وتحضير الرزمة لإرسال. كما يتم احتساب الزمن اللازم للخروج من النوم t_r . عندها يكون الزمن اللازم لإتمام العمليات في النظام الفعال هو:

$$t_a = \frac{M \cdot C}{f_{proc}} + t_r \quad (16)$$

وباعتماد هذه العلاقة والعلاقات الواردة في الفقرة (5-3-2)، واعتبار أن الموجه يقوم بمعالجة مجموع الإشارات التي يستقبلها من العقد الطرفية، فقد تم حساب زمن حياة الموجه حسب عدد العقد التي يتصل معها وفقاً لطريقة الحساب السابقة. حيث أخذ في الاعتبار أثناء الحساب أن اننا نستخدم مصدر تغذية نموذجي مثل بطاريتين من نوع AA أي $E_0=20$ kJ و $C=3$ و $M=5000$. و $f_{proc}=16$ MHz و $L=100$ bytes و $t_c=2$ sec و $t_r=8$ msec. ويتضح من الشكل(6) أن زمن الحياة هذا لا يتعلق بقيمة P_{idle} عند قيم كبيرة لهذا البارامتر ويصبح مستقلاً عن هذه القيم حين تصبح قيمة هذا البارامتر قريبة من قيم P_{rx} و P_{tx} أما عند قيم صغيرة لـ P_{idle} فإننا نستطيع التحكم بزمن حياة الشبكة بإعادة تشكيل الشبكة واختيار القيمة المناسبة لـ P_{idle} وسيتم أخذ ذلك بالحسبان في سيناريو المحاكاة لاحقاً.

5- مؤشرات زمن حياة الشبكة

يؤثر على زمن حياة الشبكة مجموعة من العوامل تؤثر منفردة أو مجتمعة حسب بنية الشبكة والبروتوكولات المستخدمة. ويستفاد من هذه المؤشرات في تقييم عمل الآليات المقترحة لإطالة عمر الشبكة. ومن هذه المؤشرات المؤشر المعتمد على عدد العقد العاملة [26]، والمؤشر المعتمد على مساحة تغطية الشبكة [31]، والمؤشر المعتمد على اتصالية بيان الشبكة [32]، والمؤشر المعتمد على التأخير الحاصل في العقد [30]. ويعتبر هذا المؤشر مؤشراً مهماً في التطبيقات لكونه يحدد خصائص نقل المعطيات ويستخدم في منظومات المراقبة وتجميع المعطيات. وقد تم العمل على هذا المؤشر في البحث [26]، حيث سيتم تعميم هذا المؤشر ليشمل البارامترات التي تم التطرق إليها سابقاً

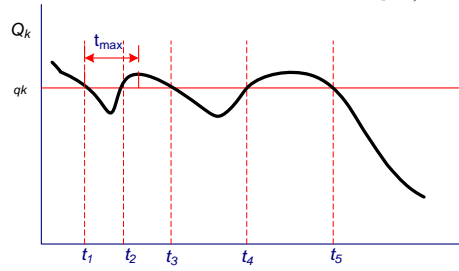
من خلال تضمينه في آلية عمل الخوارزمية المقترحة. بالنظر إلى المجال $(t-\Delta t_k, t)$ ، وبفرض أن $N_k(t)$ هو العدد الكلي للحوادث التي تحصل في المجال k في الفترة الزمنية t و $M_k(t)$ عدد الحوادث التي يتم نقلها من العدد الكلي $N_k(t)$. يتم اختيار قيمة Δt_k اعتماداً على كثافة الحوادث الحاصلة في المساحة المعنية بما يؤمن توعية الخدمة QoS للتطبيق المستخدم. وسيكون مؤشر الجودة للمنطقة k في الزمن t :

$$Q_k(t) = \begin{cases} \frac{M_k(t)}{N_k(t)}, & \text{if } N_k(t) \neq 0 \\ 1, & \text{if } N_k(t) = 0 \end{cases} \quad (17)$$

باعتبار q_k هو القيمة الحدية للمؤشر Q_k والذي يمكن اعتبار أن الشبكة عنده مازالت عاملة. عندها يكون زمن

العمل المستقل للشبكة هو τ_1 :

$$\forall t < \tau_1, \forall k \in [1..m] : Q_k(t) \geq q_k \quad (18)$$



الشكل (7): قياسات مؤشر حياة الشبكة مع الزمن

ونلاحظ أن هذا التحديد لم يشمل بعد إمكانية الإنعاش الذاتي الممكن للشبكة أي إمكانية أن تقوم الشبكة بإعادة ترتيب الوصلات بين العقد بما يؤمن إعادة الشبكة إلى العمل الطبيعي ولا يأخذ إمكانية زوال العوائق التي أدت إلى خروج بعض العقد من العمل وبالتالي عودة الشبكة إلى العمل بسبب ذلك أيضاً. لذلك سيتم حساب زمن حياة الشبكات ذات الإنعاش الذاتي والذي سيتم الاعتماد عليه لاحقاً في المحاكاة.

يفترض أنه تم تمثيل الشبكة البيان النظري ذو الدليل $Q_k(t)$ كما في الشكل (7) الذي يظهر التغيرات في الخرج عند لحظات زمنية معينة. نعرّف المجموعة Z_k بأنها النقاط التي تمر بقيمة مؤشر عمر الشبكة Q_k خلالها بالقيمة الحدية q_k من الأعلى إلى الأسفل وبالعكس،

$$Z_k = \{t_i, i = 1, 2, \dots : Q_k(t_i) \geq q_k \wedge (Q_k(t_i + \epsilon) < q_k \vee Q_k(t_i - \epsilon) < q_k), t_i < t_{i+1}, \epsilon \rightarrow 0\}$$

والتي تم تمثيلها في الشكل (7) بالمجموعة Z_k التي تحوي النقاط t_1, t_2, \dots, t_5 .

بفرض ان الزمن الأعظمي للشبكة الذي يمكن أن يحصل خلاله الانتقال بالاتجاه المعاكس نحو الأعلى بحيث تسترد الشبكة فاعليتها بعد الفشل هو t_{max} كما يمكن ألا تحصل أبداً.

لكن بعد الفشل الناجم عن خروج عقدة أو الفشل الناجم عن عوامل أخرى فإن نقاط الانتقال تتحدد بمجموعة فرعية $Z'_k \subseteq Z_k$ من نقاط الانتقال Q_k من خلال الحد q_k من أعلى إلى أسفل، بحيث يحدث الانتقال إلى الاتجاه المعاكس لاحقاً بعد انقضاء زمن أعظمي أو لا يحدث على الإطلاق، وتعتبر عنها العلاقة التالية [30]

$$Z'_k = \{t_{C(i)}, i = 1, 2, \dots : C(i) \in [1..|Z_k| - 1] : \forall t \in (t_{C(i)} \dots t_{C(i+1)}) \quad (19)$$

$$Q_k(t) < q_k \wedge t_{C(i+1)} - t_{C(i)} > t_{max}\} \cup \{t_{|Z_k|}\}$$

وستضم هذه المجموعة الجزئية النقاط t_3, t_5 كما في الشكل (7) ولن تشمل t_1 لأن $t_2 - t_1 < t_{max}$ ضمن

الزمن المسموح.

عندها يتم التعبير عن الزمن الذي تفشل فيه الشبكة في مجال k هي $\tau_k = \inf Z'_k$ ويكون وزمن حياة كامل

$$T = \min_k \tau_k \quad \text{الشبكة:}$$

بالرغم من تعقيد التوصيف الرياضي، للتعريف فإنه يحدد ببساطة الزمن اللازم لاستعادة الاتصال بين عقدة ما أو أكثر وبين المنفذ بعد حدوث طارئ ما، كما يحدد الزمن الذي يمكن اعتبار هذه العقد غير قادرة على إعادة الاتصال بعد زمن محدد على حدوث الحالات الطارئة. ويظهر التطبيق العملي لهذه العلاقة من خلال استخدامها في خوارزميات إنعاش الشبكة بعد فشل عقدة ما أو مجموعة عقد وعدم توفر معلومات كافية عن الطاقة المتبقية في بطاريات هذه العقد.

6 الخوارزمية المقترحة:

إنّ مسألة تقدير عمر شبكة الحساسات اللاسلكية والتشكيلات الحاصلة ضمنها هي مسألة متغيرة مع الزمن. وباستخدام الوصف الرياضي الوارد سابقاً في العلاقة (1) للشبكة فإن المنسق يمكن أن يأخذ عدة وضعيات. ومن الضروري تقدير عمر الشبكة عند مرور المنفذ عبر الأماكن المعينة والتي تحدد حالة الشبكة ومعرفة النقاط الحرجة في مستوى الطاقة والتي نعتبرها نقاط عنق الزجاجة بالنسبة لهذا الأمر.

يمكن صياغة خوارزمية تغير موقع المنفذ في شبكة مشابهة لما هو في الشكل (1)، ويبين الشكل (8) مخطط هذه الخوارزمية.

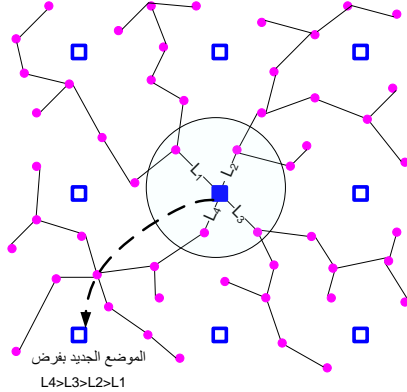
تعتمد هذه الخوارزمية على أن العقد المرشحة دائماً إلى انخفاض طاقتها بشكل سريع هي العقد المتصلة مباشرة بالمنسقات. فحين انخفاض مستوى الطاقة المتبقية في العقد المتصلة بشكل مباشر مع المنسق إلى مستوى أقل من حد معين. يقرر المنفذ التحرك إلى موضع آخر.

هناك مجموعة من المواضع المقترحة يمكن للمنسق الانتقال إليها، حيث يتم اختيار الموضع المرشح لتوضع المنسق من جديد من بين مجموعة من الخيارات التي يحددها نصف قطر منطقة التحرك المباشر، أي المنطقة التي يسمح للمنسق داخلها بالتحرك بين أي منفذين واقعين ضمنها. وحيث أنها لا تقدم كلها نفس المستوى من الأداء المتوقع من حيث بقاء طاقتها أو إمكانية خدمتها لفترة أطول، لذلك فإن اختيار الموضع الجديد من بين مجموعة من المواضع يمتلك أهمية كبيرة.

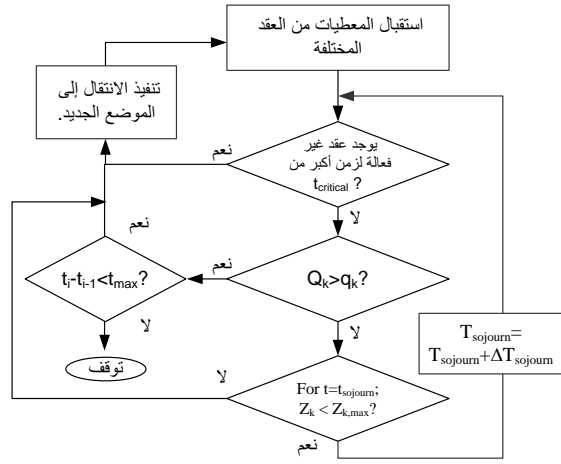
يتم اختيار الموضع الجديد في هذه المنطقة بناء على قيمة الطاقة المتبقية في جوار كل موضع، حيث يتم اختيار الموضع الذي يقع في منطقة الطاقة العظمى المتبقية. من المتوقع في كثير من الحالات أن تكون قيم الطاقة المتبقية متقاربة في أجزاء كثيرة من الشبكة وفي مثل هذه الحالة يحقق الانتقال الجديد نتائج أفضل في الاتجاه الذي يأتي منه عدد أكبر من الرزم L_k كما في الشكل (9). وهذا يعني ضمناً أن هذه المنطقة تحتاج إلى عناية أفضل من حيث تنظيم استهلاك الطاقة، وأن جعل المنسق أقرب إليها سيوفر في الطاقة المستهلكة في الموجهات لأنه يختصر عدد الخطوات التي تنتقل فيها الرزم قبل وصولها إلى المنفذ.

قد تخرج عقدة أو أكثر من العمل لسبب غير متعلق باستهلاك الطاقة، وغالباً ما تكون الشبكة قابلة للإنعاش بعد ذلك إذا قامت الشبكة بتغيير بنيتها، وبما أن تغيير البنية في هذه الحالة مرتبط بتغيير موضع المنسق فقد أخذت هذه الخوارزمية ذلك بالاعتبار. لذلك إذا استمر خروج عقدة أو أكثر من العمل لفترة زمنية مساوية لزمن ما $t_{critical}$ ، تعطى للشبكة فرصة الانتقال إلى موضع آخر قبل أن نقرر أن الشبكة ككل قد أصبحت خارج الخدمة بسبب ذلك. يتم اختيار هذا الزمن بحيث يكون أصغر من الزمن الذي نعتبر الشبكة عنده خارج الخدمة وفق الحد المبين في الشكل (8)

أي $t_{critical} < t_{max}$. إذا لم يضطر المنفذ لتغيير موقعه بسبب خروج بعض العقد من العمل فإنه سينتظر في موضعه الجديد لمدة تحددها ظروف التشغيل وتسمى زمن المكوث $t_{sojourn}$.



الشكل (9): اتجاه حركة المنسق وتحديد الموقع



الشكل (8): الخوارزمية المقترحة لتغيير موضع المنسق

إذا انقضت هذه الفترة دون أن تكون قيمة Q_k قد انخفضت دون قيمة q_k أكثر من عدد معين من المرات دون تجاوز الزمن الحدي للإنعاش t_{max} ، أي أنه عندما ينقضي الزمن $t_{sojourn}$ دون أن يكون هناك انخفاض ذو أهمية لمؤشر Q_k ، يعطى للمنفذ فرصة جديدة للبقاء في موضعه، بإضافة $\Delta t_{sojourn}$. وهذه الخطوة تسمح بالحد من عدد الانتقالات غير الضرورية للمنفذ والتي تؤثر على أداء الشبكة وفق بارامترات أخرى كالتأخير الزمني وعدد الرزم المفقودة، والتي تنتج عن كون المنفذ يوقف عملية الإرسال والاستقبال خلال تنفيذه لعملية الانتقال. عندما ينخفض مؤشر الأداء Q_k إلى ما دون q_k ويستمر في الانخفاض فترة أطول من t_{max} أي بحيث يكون $t_i - t_{i-1} > t_{max}$ فسيتم اعتبار أن عمر الشبكة قد انتهى.

يعتبر ازدياد نسبة الرزم غير الواصلة إلى المنفذ مؤشراً سلبياً على الأداء يستدعي تغيير موضع المنفذ لمحاولة تلافي ذلك. وتتطلب إعادة إرسالها استهلاك المزيد من الطاقة، ويؤدي تغيير موضع المنفذ إلى تغيير بنية الشبكة بما يسمح بإنقاص هذه النسبة وبالتالي توفير الطاقة. ونرمز لنسبة هذه الرزم إلى الرزم الكلية بـ ϵ . وهو يعبر بشكل أو بآخر عن نسبة احتمال الخطأ الواردة في الفقرة (5-1-3). وسيشكل هذا البارامتر إضافة إلى الطاقة المتبقية في العقد المحيطة المتصلة مباشرة بالمنفذ p_{surr} أساساً لتحديد قيمة q_k ، بحيث لا ينخفض مستوى الطاقة للعقد المحيطة تحت حد معين، ولا تزيد ϵ عن حد معين في كل دورة.

اختبار الخوارزمية والمناقشة

تم بناء سيناريو المحاكاة بما يضمن المقارنة بين الخوارزمية المقترحة في هذا البحث، والتي سنشير إليها لاحقاً بالخوارزمية المقترحة، وخوارزمية البحث [25]، التي سنشير إليها لاحقاً بالخوارزمية السابقة، مع إمكانية تغيير زمن بقاء المنفذ في مكانه، وكذلك عدد المواضع التي يمكن أن يشغلها المنفذ وأقصى بعد بين موضعين محتملين من مواضع المنفذ. وتم اختبار سيناريو بسيط في المحاكاة ns-2 يتم فيه نشر 400 حساس في مساحة مربعة طول ضلعها 400 متر، باستخدام النشر العشوائي، وهذا السيناريو مشابه تقريباً للسيناريو الذي يستخدم في أغلب الدراسات [26-30]، والذي يتم فيه نشر 100 حساس في مساحة مربعة طول ضلعها 100 متر من حيث كثافة الحساسات وعدد الحساسات

المحتمل تواجده في مساحة ما محددة، ولكنه يتيح لنا اختبار تحرك المنسق بحرية أكبر ضمن مجموعة من النقاط نستطيع اختيارها بشكل أوسع مما تنتجه المساحة ذات الضلع 100 متر. كما تم اختيار أن تقوم عقد الشبكة بتوليد الأطر بمعدل قدره 1 bit/sec أي أن كل عقدة قادرة على توليد الأطر بمعدل إطار كل 7 دقائق تقريباً. وهذا المعدل مناسب للكثير من التطبيقات كالمراقبة البيئية من حرارة ورطوبة، والصحة... ويناسب تشغيل الشبكة باستخدام تقنية ZigBee وبشكل لا يجعل من تأثير إعادة الإرسال للأطر في حال الأخطاء أي مشكلة كما يسمح باستخدام أطر تأكيد الإرسال بحرية دون أن نتجاوز معدل الإرسال المسموح عند استخدام ZigBee.

اختبرت الشبكة من أجل ثلاثة سيناريوهات، حيث يتم تحريك المنسق في السيناريو الأول حسب شبكة (4X4) أي 16 موضع. أما في السيناريو الثاني فقد زيد عدد هذه المواضع لتصبح (6X6) أي 36 موضع. بينما زيدت مواضع تحرك المنفذ المحتملة في السيناريو الثالث إلى 64 موضع أي (8X8). وتسمح هذه السيناريوهات بالمقارنة بين الخوارزميتين موضوع المقارنة ضمن شروط تتغير فيها بنية الشبكة بشكل كاف لاختبار العوامل المؤثرة في كل خوارزمية، حيث تتغير العلاقة بين العقد مع تغير عدد المواضع التي يشغلها المنفذ والمسافة بين هذه المواضع. كما تم انقضاء ZigBee بمعدل إرسال 250 kbps كوسط الإرسال باستخدام CSMA/CA كبروتوكول دخول إلى الوسط وهو الخيار الأساسي في شبكات ZigBee.

الجدول(1): قيم بارامترات المحاكاة المقترحة

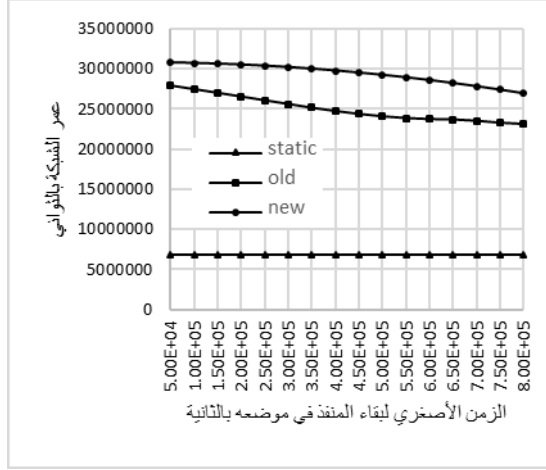
البارامتر	قيمة البارامتر	البارامتر	قيمة البارامتر
مساحة نشر الحساسات	400x400 m	البارامتر	قيمة البارامتر
عدد الحساسات في المساحة	400 حساس	استهلاك الطاقة في العقد	قيمة البارامتر
طريقة نشر الحساسات	عشوائية	14.8mW في الإرسال	قيمة البارامتر
مجال إرسال العقدة	30 m	12.5mW في استقبال	قيمة البارامتر
معدل توليد البيانات في العقد	1 bps	0.016 mW في حالة النوم	قيمة البارامتر
معدل إرسال القناة	250 kbps	5mW في حالة المعالجة	قيمة البارامتر
الطاقة الابتدائية لكل عقدة	20 k J	4x4 للسيناريو الأول	قيمة البارامتر
حجم إطار ZigBee	50 بايت	6x6 للسيناريو الثاني	قيمة البارامتر
$t_{critical}$	25 دقيقة	8x8 للسيناريو الثالث	قيمة البارامتر
ϵ	<0.05	قيمة t_{min} الابتدائية	50000 ثانية
		$\Delta t_{sojourn}$	50000 ثانية
		p_{surr}	> 20%

أما نموذج استهلاك الطاقة في العقد فقد تم اختياره 14.8 mW في الإرسال و 12.5 mW في الاستقبال و 0.016 mW في حالة النوم وهذا اعتماداً على مواصفات استهلاك الطاقة في TR 1000 [33]. ويبين الجدول(1) قيم بارامترات المحاكاة المقترحة

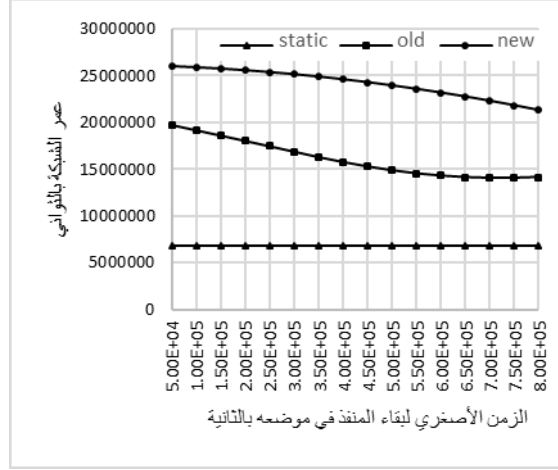
يبين الشكل(10) زمن حياة شبكة الحساسات اللاسلكية من أجل عدد مواضع محددة للمنسق، وقيم مختلفة للزمن الأصغري لبقاء المنسق في كل موضع تتراوح بين 50 000 ثانية و 800 000 ثانية. وذلك في ثلاث حالات هي الحالة الثابتة، والتي لا تتأثر بزمن بقاء المنفذ، فالمنفذ لا يتحرك في هذه الحالة، وقد وضعت للمقارنة. أما الحالتين الباقيتين فقد تمت دراستهما من أجل الطريقة المقترحة في هذا البحث ومن أجل الطريقة السابقة.

من الواضح أن ثبات المنسق يؤدي إلى نفاذ طاقة العقد القريبة منه لأنها صلة الوصل بينه وبين بقية العقد، ولذلك فإنها تصرف كمية كبيرة من الطاقة على إيصال معطيات الحساسات الأخرى إلى المنسق ولذلك تنفذ طاقتها

بسرعة، وتشكل ما يسمى ثقب الطاقة الذي يؤدي إلى عزل المنفذ عن باقي الشبكة بالتدرج مع نفاذ طاقة العقد المحيطة به، وبالتالي توقف الشبكة عن العمل الفعال، على الرغم من أن بقية العقد وخاصة على الأطراف تكون مازالت تقريباً في حالة قريبة من حالتها الابتدائية.



الشكل(11): زمن حياة شبكة الحساسات اللاسلكية من أجل 6x6 موضع للمنفذ

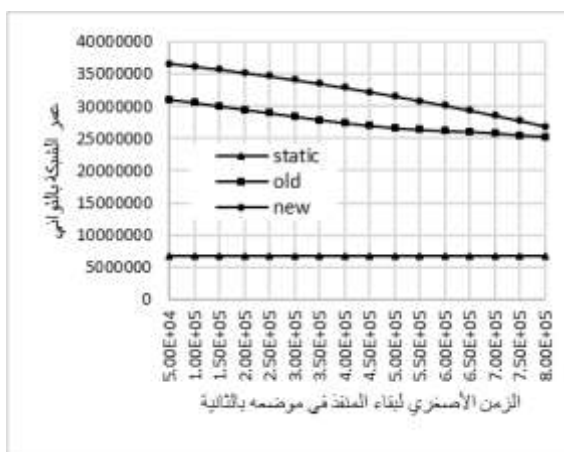
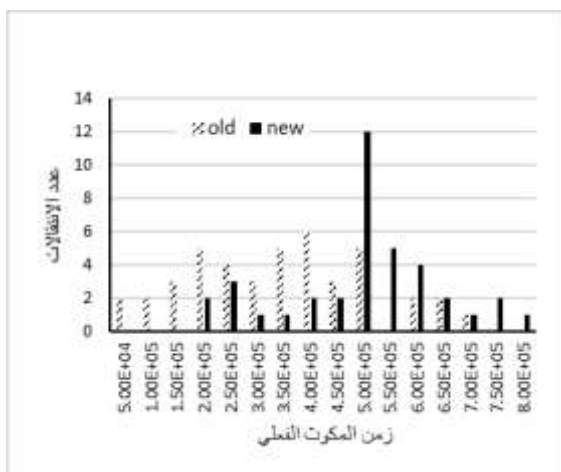


الشكل(10) زمن حياة شبكة الحساسات اللاسلكية من أجل 4x4 موضع للمنفذ

يتضح من المنحنيات في الأشكال (10) و (11) و (12) مدى تأثير تنقل المنفذ على زمن حياة الشبكة بشكل إيجابي في كافة السيناريوهات. كما يؤدي زيادة عدد مواقع المنافذ إلى إطالة العمر. ونلاحظ أيضاً أن استخدام زمن أقل لمكوّن المنفذ في مواقعه يؤدي إلى زيادة عمر الشبكة في كل السيناريوهات، ومع زيادة هذا الزمن في كل السيناريوهات نلاحظ أن زمن حياة لشبكة ينخفض.

كما تجدر الإشارة إلى أنه، ومن أجل خوارزمية هذا البحث فإن زمن الحياة ينخفض بشكل أبطأ من الخوارزمية الأخرى. ويعزى ذلك إلى اعتماد هذه الخوارزمية على بارامترات تحد من الانتقالات غير الضرورية للمنفذ، قبل أو حتى بعد انقضاء الزمن الأصغري، إذا كان هناك إمكانية للاستمرار في تلقي المنفذ للبيانات من العقد مما يطيل في عمر الشبكة.

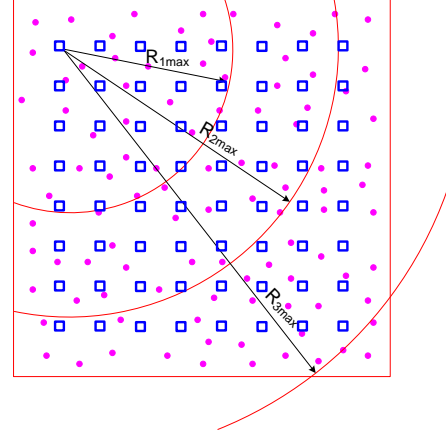
عند انتقال المنفذ من موضع لآخر فإنه لا يرسل ولا يستقبل أي بيانات. ولذلك فإن هذا الانتقال ومقدار خطوته تؤثر على تأخير البيانات من العقد. في هذه الحالة تخزن العقد المعطيات لحين إعادة تشكيل الشبكة وفق موضع المنفذ الجديد. يرتبط زمن انتقال المنفذ وإعادة التشكيل المرتبط به مباشرة بالحد المسموح لمسافة الانتقال والذي يتم إعطاه للشبكة قبل البدء بشكل ثابت، أو في سياق عمل الشبكة بشكل ديناميكي، يرتبط بعدد من البارامترات وعلى رأسها توزيع الطاقة المتبقية في أجزاء الشبكة. لذلك من المفيد دراسة أثر خطوة تحرك المنفذ القصوى على زمن حياة الشبكة في الاليتين المذكورتين. وسنقوم باختيار خطوة التحرك هذه بما يسمح للمنفذ بالتحرك ضمن ثلاث سيناريوهات تحدها قيمة نصف قطر دائرة الجوار. ومن الملاحظ أنه لضمان تحرك المنسق إلى أي من المواضع المجاورة له في حالة توزيع المنافذ (4x4) وهي الحالة الحرجة بين الحالات الثلاث لأبد من أن يكون نصف قطر دائرة التحرك R_{max} المساوي لقطر مربع توزيع المنافذ 190 متراً تقريباً، محسوبة على أساس البعد بين موضعين قطريين متجاورين في السيناريو (4x4) أي بما يضمن الانتقال إلى موضع واحد على الأقل انطلاقاً من الموضع السابق. وسنختار نصف قطر التحرك الأصغري هذا 200 متر في سيناريوهات المحاكاة.



الشكل (12): زمن حياة شبكة الحاسبات اللاسلكية من أجل 8x8 الشكل (13): توزيع عدد الانتقالات المنفذ في كلا السيناريوهين وفقاً لزمن بقاء المنفذ في موضعه

يشكل عدد الانتقالات ومدة بقاء المنسق في كل موضع معياراً مهماً لتقييم جودة الخوارزمية المتبعة، حيث أن زيادة عدد الانتقالات وقصر مدة بقاء المنفذ في الموضع الواحد تعدّ مؤشراً سيئاً لأن الشبكة لن تقوم بنقل أي معطيات في فترة انتقال المنفذ من موضع لآخر وهذا يؤدي إلى فترات تأخير غير محبذة في الشبكات العاملة في الزمن الحقيقي أو شبه الحقيقي. ولتقييم الأليتين باستخدام هذا المعيار لجأنا إلى جعل $t_{min}=5E+4$ أي أن المنفذ يبقى في مكانه على الأقل زمناً t_{min} ولكنه لا يتحرك بعد انقضاء هذا الزمن إن لم تجبره المؤشرات الأخرى على التحرك بل يزيد هذا الزمن بشكل خطوات مساوية لـ $5E+4$ في كل مرة وصولاً إلى قيمة عظمى $8E+6$ ثانية. حيث يبقى كل هذا الزمن إذا لم تتغير البارامترات الأخرى وفق كل خوارزمية بما يضطره إلى الانتقال إلى وضع جديد. وتبين النتائج في الشكل (13) أن المنفذ قام بخمس انتقالات أكثر وفق الخوارزمية السابقة، مما قام به حالة الخوارزميات المقترحة كما أن متوسط زمن بقاء المنفذ في الخوارزمية المقترحة $4.99E+05$ بينما متوسط زمن بقاء المنفذ في الخوارزمية السابقة هو $3.45E+05$. كما بقي في 12 موضع زمناً هو $5E+5$ وهذا يدل على أن الخوارزمية المقترحة هي أفضل من هذه الناحية وتقلل عدد الانتقالات وتزيد من زمن بقاء المنفذ في مواضع الانتقال مع زيادة في زمن حياة المنفذ وهذا يعطي الشبكة إمكانية كبيرة لجدولة تحرك المنفذ بشكل ديناميكي مع إطالة عمرها بشكل ملحوظ.

ينقل المنفذ في الخطوة الواحدة مسافة لا تتجاوز نصف قطر منطقة التحرك وهذا يمكن تحديده عملياً حسب المنفذ وطبيعة تحركه وآلية التحرك وعوامل أخرى تختلف من منفذ لآخر ومن شبكة لأخرى. وقد تم وضع سيناريو لدراسة أثر تغيير نصف القطر هذا على عمر الشبكة. لذلك تم وضع سيناريو يعطي إمكانية لدراسة هذا التغيير ضمن مجال واسع. لذلك فقد تم اختيار عدد منافذ (8x8) مع تغيير نصف القطر. حيث أعطي لنصف القطر ثلاث قيم. تؤمن القيمة الأولى إمكانية انتقال المنفذ بين أي موضعين ضمن دائرة نصف قطرها 200 متراً، وتؤمن الثانية إمكانية انتقال المنفذ بين أي موضعين ضمن دائرة نصف قطرها 320 متراً عند كل تبديل، بينما تضمن الثالثة تحرك المنسق لمسافة بين أي موضعين في الشبكة في أي تبديل، وذلك كما في الشكل (14).



الشكل (14): تغير نصف قطر منطقة تحرك المنسق الشكل (15): زمن حياة الشبكة وفقاً لنصف القطر الأعظمي لتحرك المنسق

كما تم اختيار القيمة الدنيا لزمن بقاء المنفذ في مكانه كقيمة وسطى بين القيمتين المتوسطتين اللتين تم الحصول عليهما في السيناريو السابق بخصوص تأثير زمن بقاء المنفذ في مكانه، أي القيمة $4E+5$ ثانية وذلك لتناسب الآليتين قيد الدراسة معاً. تشير النتائج التي حصلنا عليها في الشكل (15) إلى أن أداء الخوارزمية المقترحة في هذه الحالة أيضاً أفضل من الخوارزمية المقترحة في البحث [25] مع أن زيادة قيمة نصف القطر في الحالتين تحسن من زمن حياة الشبكة. ويعود السبب في ذلك إلى أن زيادة نصف القطر يزيد الامكانية أمام الشبكة لاختيار الموقع الجديد وبالتالي زيادة الخيارات للانتقال المباشر إلى مناطق الطاقة الأعلى بما يزيد من عمر الشبكة.

الاستنتاجات والتوصيات

1. تؤكد النتائج على أن ثبات المنفذ يؤدي إلى نفاذ طاقة العقد القريبة منه بما يؤدي إلى عزل المنفذ عن باقي الشبكة بالتدرج وبالتالي توقف الشبكة عن العمل الفعال.
2. يؤدي تنقل المنفذ إلى إطالة زمن حياة الشبكة. كما يؤدي زيادة عدد المواقع المنافذ إلى إطالة هذا العمر.
3. يؤدي الاعتماد في أخذ قرار تغيير موضع المنفذ على عوامل أخرى تحد من الانتقالات غير الضرورية للمنفذ، قبل انقضاء الزمن الأصغر، إذا كان هناك إمكانية للاستمرار في تلقي المنفذ للبيانات من العقد، كما في الخوارزمية المقترحة، إلى إطالة عمر الشبكة.
4. أدى تطبيق الخوارزمية الجديدة إلى إنقاص عدد الانتقالات غير الضرورية، ومن المتوقع أن ينقص ذلك زمن التأخير الناجم عن تخزين الرزم لفترات إضافية خلال زمن الانتقال قبل أن يعود المنفذ إلى العمل الطبيعي في موقعه الجديد، ويمكن لهذا الأمر أن يكون موضوعاً مستقبلياً للبحث.
5. يلعب اختيار خطوة الانتقال المسموحة للمنفذ في الانتقال الواحد، بشكل عام، دوراً لا بأس به في إطالة عمر الشبكة وقد كان هذا التأثير أفضل عند تطبيق الخوارزمية المقترحة مما هو عليه في الخوارزمية السابقة.

مراجع:

- 1- ALNUAIMI, M;SALLABI,F;SHUAIB,K. *A survey of Wireless Multimedia Sensor Networks challenges and solutions*. International Conference on Innovations in Information Technology (IIT), 2011. pp 191–196.
- 2- LEWIS,F.L. *Wireless Sensor Networks. In Smart Environments Technologies, Protocols, and Applications*. John Wiley: New York, NY, USA, 2004, pp11–46.
- 3- AKYILDIZ,I.F; SU, W; SANKARASUBRAMANIAM, Y; CAYIRC. E. *Wireless sensor networks: A survey*. Comput. Netw. 2002, 38, 393–422.
- 4- KHAN, A; ABDULLAH, A; ANISI, M; BANGASH, J. *A Comprehensive Study of Data Collection Schemes Using Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks*; Sensors 2014,pp 2510-2548.
- 5- BASLIS, G. *Prolonging Network Lifetime in Wireless Sensor Networks with Path-Constrained Mobile Sink*. International ajournal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA), Vol. 5, 2014, No. 10
- 6- BASANGI,S; CAROSI, A; PETRIOLI, C; Phillips, C. A, *Coordinated and controlled mobility of multiple sinks for maximizing the lifetime of wireless sensor networks*. ACM/Springer Journal on Wireless Networks (WINET), January 2011.
- 7- UMESH, B.N; VASANTH, G; SIDDARAJU. *Energy Efficient Routing of Wireless Sensor Networks Using Virtual Backbone and life time Maximization of Nodes*, International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN) Vol. 5, No. 1, February 2013.
- 8- WEIFALIANG; LUO, J ; XU XU . *Prolonging Network Lifetime via A Controlled Mobile Sink in Wireless Sensor Networks*; , IEEE (GLOBECOM 2010).
- 9- HARI HARAN, U. *Prolonging the Network Lifetime Using Dynamic Mobile Sink for Wireless Sensor Networks*; IJAREAS, Vol. 4 - No. 8 - August 2015.
- 10-RAULT, T; BOUABDALLAH,A; CHALLAL,Y; *WSN Lifetime Optimization through Controlled Sink Mobility and Packet Bufferization*; <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00871203> Submitted on 9 Oct 2013.
- 11-PRIYA,H.V; KUMARAN,R.S; *Enhancement of Network Lifetime using Mobile Sink Based Routing Protocol*. Journal of Scientific and Engineering Research, 2017,67-73.
- 12-CHEN, H;LUO, M;SUN,B. *energy Efficient Based Maximal Lifetime Routing in Wireless Sensor Networks*. International ajournal of Future Generation Communication Networking (IJFGCN), Vol.7. No.3, 2014, 69-76.
- 13-SHARMA, U;PUROHIT,G.N. *Graph Theoretic Approach for Enhancing the Lifetime of Wireless Sensor Networks*. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering Volume 6, Issue 1, January 2016 .
- 14-DING,L; ZHI-HONG,G. *Modeling wireless sensor networks using random graph theory; Statistical Mechanics and its Applications*. Volume 387, Issue 12, 1 May 2008, 3008-3016.
- 15-CHATIGIANNAKIS, I; KINALIS, A; NIKOLETSEAS,S. *Efficient data propagation strategies in wireless sensor networks using a single mobile sink*. Comput. Commun. 2008, 31, 896–914.
- 16-YANG, X; VAIDYA,N.H. *A Wakeup Scheme for Sensor Networks: Achieving Balance between Energy Saving and End-to-End Delay*. In Proceedings of the 10th IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium, Toronto, ON, Canada, 25–28 May 2004; pp. 9–26.

- 17-ZHAO, W; AMMAR, M; ZEGURA, E. *A Message Ferrying Approach for Data Delivery in Sparse Mobile Ad Hoc Networks*. In Proceedings of the 5th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing, Tokyo, Japan, 24–26 May 2004; pp. 187–198. 18.
- 18-SCHURGERS, C; TSIATSI, V; GANERIWAL, S; SRIVASTAVA, M. *Optimizing sensor networks in the energy-latency-density design space*. IEEE Trans. Mob. Comput. 2002, 1, 70–80. 19.
- 19-CHATIGIANNAKIS, I; KINALIS, A; NIKOLETSEAS,S. *Sink Mobility Protocols for Data Collection in Wireless Sensor Networks*. In Proceedings of the 4th ACM International Workshop on Mobility Management and Wireless Access, Torremolinos, Spain, 2006, 52–59.
- 20-KHAN, M.I; GANSTERER, W.N; HARING, G. *Congestion avoidance and energy efficient routing protocol for wireless sensor networks with a mobile sink*. J. Netw. 2007, 42–49.
- 21-HUSSAIN,S; SHAFIQUE,M.I. *Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks through Virtual Backbone*; Seventh Annual Communications Networks and Services Research Conference, 2009.
- 22-UMESH,B.N; VASANTH,G; SIDDARAJU. *Energy Efficient Routing of Wireless Sensor Networks Using Virtual Backbone and life time Maximization of Nodes*. IJWMN, Vol. 5, No. 1, February 2013.
- 23-DEQIAN.F;LIHUA,H; LIL,QIAN,G; ZHIQUAN. *An Efficient Centralized Algorithm for Connected Dominating Set on Wireless Networks*. The 12th International Conference on Mobile Systems and Pervasive Computing (MobiSPC 2015).
- 24-LUO,J; HUBAUX, J. *Joint Sink Mobility and Routing to Maximize the Lifetime of Wireless Sensor Networks*. The Case of Constrained Mobility; IEEE/ACM transactions on the networking,2009.
- 25-JURENOKS,A; NOVICKES,L. *Wireless sensor networks lifetime assessment model development*. Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference, Latvia, Volume III,2015, 121-126.
- 26-CHEN,Y; ZHAO,Q. *On the Lifetime of Wireless Sensor Networks*. IEEE Communication Letters, Vol. 9, No. 11, 2005, 976-978.
- 27-ZHANG,H; SHEN,H. *Balancing Energy Consumption to Maximize Network Lifetime in Data-Gathering Sensor Networks* . IEEE Trans. Parallel Distrib Syst. 2009, Vol 20, no10, 1526–1539.
- 28-GOYAL,M ;ROH,D; HOSSEINI,H. *A stochastic model for beaconless IEEE 802.15.4 MAC operation*. Proceedings of the 12th international conference on Symposium on Performance Evaluation of Computer & Telecommunication Systems. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 2009, 199–207.
- 29- ZigBee/Overview 2016.URL:<http://www.zigbee.org/Specifications/> .(08-2017)
- 30-HELLMAN, K; COLAGROSSO,M. *Investigating a Wireless Sensor Network Optimal Lifetime Solution for Linear Topologies*. International ajournal of Networking (J I N). 2006,pp 91–100.
- 31-WU,K; GAO,Y; LI ,F; XIAO,Y. *Lightweight deployment-aware scheduling for wireless sensor networks*. Mob. Netw , Vol 10, no 6,2005, 837–852.
- 32-CARUNAR,B; GRAMA,A; VITEK,J; CARUNAR,O. *Redundancy and coverage detection in sensor networks* . ACM Trans. Sen Netw Vol 2, no 1,2006, 94–128.
- 33-RFM, *Tr-1000 product technical information sheet*. available in <http://www.rfm.com/products/data/tr1000.pdf>?