

إطالة عمر شبكات الحساسات اللاسلكية المعتمدة على بروتوكول ZigBee

الدكتور جمال خليفة*

(تاريخ الإيداع 1 / 9 / 2014. قُبل للنشر في 13 / 10 / 2014)

□ ملخص □

يلعب تخفيض استهلاك الطاقة للعقد المختلفة في شبكات الحساسات اللاسلكية دوراً هاماً وأساسياً في إطالة عمر هذه الشبكات. وكما لا يكون استهلاك الطاقة في بعض العقد كبيراً، وفي بعض العقد أقل، أو حتى صغيراً، فإن اختيار خوارزميات توزيع أدوار العقد، بين عقد طرفية، وعقد توجيهية، وتبديل هذه الأدوار، يلعب دوراً هاماً في إطالة عمر شبكات الحساسات اللاسلكية.

يقدم هذا البحث خوارزمية لتوزيع الأدوار بما يسمح بتشكيل نماذج شجرية متعددة لشبكة واحدة. وهذا يقدم الإمكانية لمنسق الشبكة بتبديل أدوار العقد مركزياً بتبديل النموذج الشجري كلما دعت الحاجة حسب مؤشرات استهلاك الطاقة في العقد. وتظهر النتائج أن استخدام الخوارزمية يؤدي إلى تحسن كبير في زمن حياة الشبكة يتراوح بين 2 و 4 مرات، وذلك حسب السماح بنوم واستيقاظ العقد أو عدم السماح بذلك. وذلك من أجل معدلات إرسال مختلفة. وقد تم اختبار سيناريوهات عمل شبكات الحساسات اللاسلكية بالاعتماد على استخدام تقنية ZigBee، وباستخدام المحاكاة، اعتماداً على المحاكى الشبكي NS-2.

الكلمات المفتاحية: شبكات الحساسات اللاسلكية، استهلاك الطاقة، خوارزمية تبديل الأدوار، زمن حياة الشبكة، ZigBee.

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

Prolonging of ZigBee protocol Based wireless sensor network Life Time

Dr. Jamal Khalifeh*

(Received 1 / 9 / 2014. Accepted 13 / 10 / 2014)

□ ABSTRACT □

The reducing of energy consumption for various nodes in wireless sensor networks plays an important and essential role in the prolonging of the life of these networks. In order not to be the energy consumption in some node is very high and in others is less or very low, the choice of distribution algorithms of the nodes role, as a router node or terminal nodes, and switching between them, plays an important role in prolonging the lifetime of wireless sensor networks.

This paper presents an algorithm for the distribution of WSN nodes roles, including allowing the applying of many tree patterns to a single network. This offers the potential to alter the network nodes roles centrally by coordinator and switching between these tree patterns whenever the need arises according to the indicators of energy consumption in the nodes. The results show that the use of the algorithm leads to a significant improvement in the network life ranges between 2 and 4 times, according to the allowing the nodes to sleep and wakeup, or not, for different transmission rates where the scenarios have been tested for ZigBee based wireless sensors networks using NS-2 simulator.

Keywords: wireless sensor networks, energy consumption , roles switching algorithm, network life time, ZigBee.

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

مقدمة:

تختلف العقد المكونة لشبكات الحساسات اللاسلكية باختلاف موقع هذه العقد في الشبكة والدور الموكل لها. وفي جميع الأحوال تصنف هذه العقد إلى عقد طرفية End node وعقد توجيه Routing node وعقد التنسيق Coordinator [1].

تكون وظيفة العقد الطرفية، أو الطرفيات، جمع المعطيات عن حالة فيزيائية أو حادثة ما وإرسال هذه المعطيات عبر الشبكة. أما عقد التوجيه، أو كما سنسميها أحياناً الموجهات، فتكون مهمتها توجيه المعطيات التي يتم إرسالها من الطرفيات إلى نقطة جمع المعطيات والتي تكون في أغلب الحالات المنسق أو المنسقات، حيث يمكن لبعض الشبكات أن تستخدم عدة عقد تنسيق. يقوم المنسق بدوره بنقل هذه المعطيات التي يستقبلها من العقد وينقلها إلى مستوى أعلى من أجهزة المعالجة سلكياً أو لاسلكياً. وفي أغلب الحالات فإن المنسقات تزود بمصادر تغذية مستمرة أو قابلة للاستبدال بما يجعلنا نفترض أن عمرها ليس موضوعاً مهماً للدراسة والتحليل والتقييم كبقية عقد الشبكة.

يفترض في شبكات الحساسات اللاسلكية أن يتم تغذية كل عقدة من منبع تغذية مستقل. وهذا المنبع في الغالبية العظمى من الحالات هو عبارة عن بطارية، من نوع ما، مناسبة في الحجم وطاقة التخزين لحجم ووظيفة العقدة، ولكنها محدودة الطاقة. مما يعني أن زمن حياة العقدة مرتبط بشكل أساسي بالطاقة المخزنة في البطارية، وستتوقف العقدة عن العمل فور نفاذ هذه الشحنة، أو انخفاضها تحت مستوى معين. لذلك فإنه عند حل المشاكل العملية المتعلقة بعمل شبكات الحساسات اللاسلكية التي تعمل بشكل مستقل يظهر نوعان من المهام المتعلقة بإطالة عمر الشبكة وهما [2,3]:

- تقييم عمر الشبكة المقترح اعتماداً على نوعية الأجهزة من الحساسات، وبطاريات التغذية، وخوارزمية عمل هذه الحساسات.
- إطالة عمر هذه الشبكات باستتباط طرق وخوارزميات عمل جديدة تؤدي إلى تخفيض استهلاك الطاقة وبالتالي زيادة عمر هذه الشبكات.

أهمية البحث وأهدافه:

نظراً لأهمية موضوع إطالة عمر شبكات الحساسات اللاسلكية وارتباطه بمسألة الاستخدام الفعال لطاقة مصادر التغذية للحساسات المكونة للشبكة، ونظراً للاهتمام المتزايد من قبل الباحثين في السنوات الأخيرة بمسألة تخفيض استهلاك الطاقة في شبكات الحساسات اللاسلكية. فستعمل في هذا البحث على تحسين أساليب وخوارزميات العمل وتعديلها بما يقدم تحسيناً لزمن حياة الشبكة ككل وفي سياق ذلك لن نتطرق إلى مواضيع إطالة عمر الشبكة عن طريق تحسين البناء الفيزيائي للحساسات، فهو موضوع خارج مجال الاهتمام المباشر في هذا البحث. وسنستنتج أيضاً تلك الطرق والخوارزميات التي تعنى بموضوع ضغط المعطيات، حيث إن المعطيات التي يتم إرسالها في شبكات الحساسات اللاسلكية، بطبيعتها، غير كبيرة الحجم أصلاً، وضغطها لن يؤدي إلى تحسينات ملموسة على هذا الصعيد.

طرائق البحث وموارده:

سنلجأ في هذا البحث إلى اقتراح واختبار خوارزمية لتوزيع أدوار العقد في شبكات الحساسات اللاسلكية من أجل تقليل استهلاك الطاقة ويتضمن العمل:

- دراسة نظرية وتجريبية لهذه الشبكات بالاعتماد على استخدام IEEE 802.15.4 و ZigBee
- اقتراح خوارزمية لبناء نماذج مستقلة للبنية الشجرية لشبكة الحساسات اللاسلكية.
- اختبار هذه الخوارزمية بالاعتماد على الدراسة المنجزة وباستخدام المحاكى NS-2
- دراسة تأثير تطبيق هذه الخوارزمية على إطالة عمر الشبكة لمقارنة عمر الشبكة في حالتها تطبيقها وعدم تطبيقها.

علاقة البحث بالأبحاث المماثلة:

من المعروف أن زمن حياة العقد مرتبط بكمية المعطيات التي تستقبلها وترسلها. وعليه فإن زمن حياة الموجهات والعقد الوسيطة يكون أقل من زمن حياة العقد الطرفية من نفس النوع ونفس نوع مصدر التغذية. وقد اهتمت بعض الدراسات ومنها على سبيل المثال [4] بخوارزميات تحقيق التوازن في استهلاك الطاقة عن طريق توزيع أدوار العمل بين العقد. إذ تبدل العقد وظيفتها من عقد لا تقوم بالتوجيه إلى عقد تقوم بالتوجيه والعكس، وفقاً للمعطيات المستقبلية حول مستوى الطاقة في بطاريات العقد.

بينما اعتمد الباحثون في [5] على استخدام بطاريات وعقد تختلف في حجمها وإمكاناتها، وتوزيع هذه العقد في الشبكة بشكل غير منتظم، وتأمين خوارزمية لتوزيع الأدوار بينها. وعلى الرغم من بساطة الحل إلا أنه ينفذ على حساب تعقيد بنية أنظمة جمع بيانات العقد والتحكم بعملها. في حين يعتمد البحث [6] على توزيع الأدوار وفق خوارزمية تتجنب إرسال نفس المعطيات أكثر من مرة في أي جزء من الشبكة. وبذلك فهي تحقق وفراً في استهلاك الطاقة وبالتالي إطالة لعمر الشبكة بالاعتماد على التوازن في عمل عناصر الشبكة من ناحية وضمان عدم إرسال معطيات فائضة عبر عقد الشبكة.

لجأ باحثون آخرون إلى استنباط حلول برمجية، لتبديل العقد، تعتمد على إدخال بارامترات توجيه معطيات جديدة مثل الطاقة المتبقية في بطارية الموجه أثناء حساب مسارات توجيه رزم المعطيات، بما يحقق وفراً في طاقة الموجهات، باعتبارها العناصر الأكثر استهلاكاً للطاقة وذلك كما في البحث [7]. كما قدم البعض خوارزميات تعمل على الموازنة في استهلاك الطاقة في العقدة من خلال تكليفها بمهام الإرسال لفترات زمنية قصيرة وطويلة على التناوب كما في [8]. في حين قدمت بعض الأبحاث حلولاً تعتمد على اختيار البنى الشبكية الملائمة مثل تقسيم الشبكة إلى قطاعات وتبديل العقد العاملة كرووس للقطاعات [9].

وكما نلاحظ فقد لاقى تغيير أدوار العقد لنقوم هذه العقد بمهام مختلفة في فترات زمنية مختلفة بالاعتماد على مستوى الطاقة في بطاريات العقد، أو على بارامترات أخرى بما يطيل عمر الشبكة ككل اهتماماً كبيراً من قبل الباحثين في الآونة الأخيرة. واختلفت الطرق التي يتم فيها تبديل الأدوار. ولكن هذه الطرق تعتمد على المعالجة الآتية للمعطيات ضمن عقد الشبكة. بما يسمح باستخلاص البارامترات المحددة لدور كل عقدة وتغيير هذا الدور بشكل ديناميكي. الأمر الذي ينتج عنه استهلاكاً إضافياً للطاقة يؤدي إلى تقصير عمر العقد، وبالتالي عمر الشبكة ككل. هذا إضافة إلى أن تضمين مثل هذه المعالجة في العقد يزيد من تعقيدها وبالتالي يرفع متطلباتها الحسابية وكلفتها. كما أنه يضيف زمناً إضافياً إلى التأخير الحاصل في العقد وبالتالي التأخير الكلي للمسارات نتيجة لزمن المعالجة هذا.

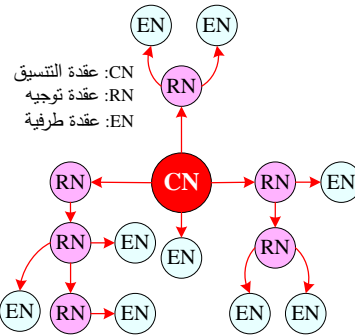
يعتمد الحل المقترح في هذا البحث على اقتراح خوارزمية جديدة تعطي إمكانية التحديد المسبق لعدد نماذج البنى الشبكية المستقلة التي يمكن أن تتشكل من شبكة محددة، وتمكين عقدة التنسيق الرئيسية من إدارة وتنسيق عمل العقد بناء على النماذج المسبقة التي تحددها هذه الخوارزمية، بحيث تقوم بتبديل النموذج الشبكي عند الضرورة، مما يعطي

تحسيناً على مستوى إطالة عمر الشبكة ويزيل العوامل والآثار السلبية الناجمة عن الخوارزميات التي تعتمد على المعالجة الديناميكية في العقد والتي أشرنا إليها سابقاً.

لجاناً في هذا البحث إلى اختبار نتائج هذه الخوارزمية بتطبيقها على شبكة حساسات لاسلكية تتوزع عقدها ضمن مساحة محددة وتقوم بنقل رزم المعطيات إلى عقدة التنسيق عبر عقد التوجيه وذلك من أجل معدلات إرسال رزم مختلفة بما يسمح بتطبيق هذه الخوارزمية من أجل تطبيقات حقيقية متعددة تغطي طيفاً واسعاً من التطبيقات، من تتبع بعض الظواهر الطبيعية وحتى بعض أنظمة المراقبة وحماية البيئة. وقد اعتمدنا في اختبار هذه الخوارزمية على استخدام شبكة تعتمد في نقل معطياتها على استخدام بروتوكول ZigBee. اختير هذا البروتوكول لكونه من أكثر البروتوكولات ملائمة لعمل هذه الشبكات [10].

بنى شبكات الحساسات اللاسلكية التي تستخدم تقنية ZigBee:

يمكن تطبيق تقنية ZigBee في شبكات الحساسات اللاسلكية باستخدام بنى متعددة منها النجمية والخطية والمختلطة وغيرها. وقد قمنا في هذا البحث باستخدام البنية الشجرية التي تلعب فيها عقدة التنسيق الدور الأساس في عمل الشبكة وتنظيمها و تحتوي الشبكة على عقد توجيه تقوم بالإضافة إلى إيصال معطياتها الخاصة بتوجيه معطيات العقد التي تقع في مستوى أدنى منها إلى عقدة التنسيق. ويوضح الشكل (1) بنية شجرية لحساسات لاسلكية.



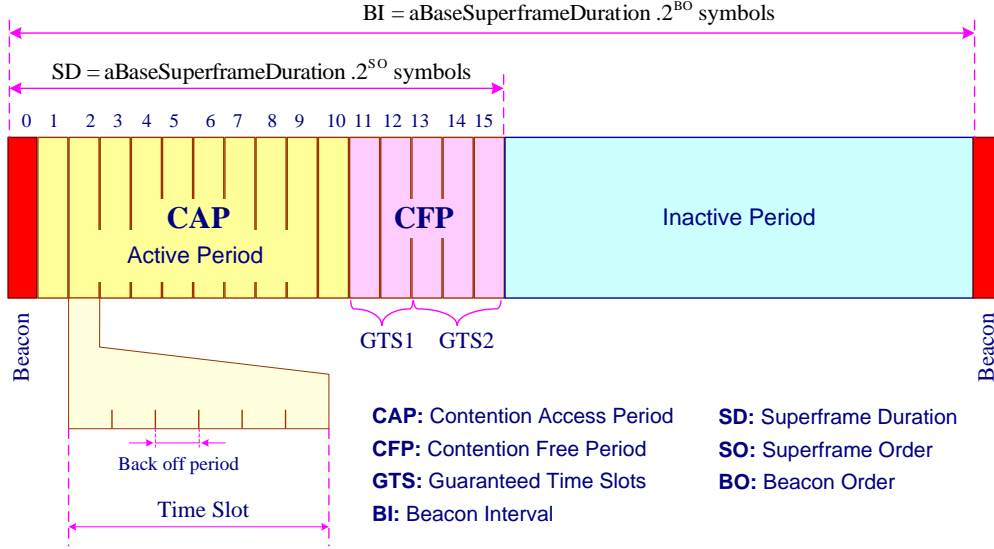
الشكل (1): توضيح لمكونات البنية الشجرية في شبكات الحساسات اللاسلكية.

يمكن إرسال المعطيات باستخدام هذا البروتوكول إلى مسافات قصيرة تتراوح بين عدة أمتار وعشرات الأمتار (وسطياً 100 متر) وذلك باستخدام 27 قناة جزئية تعمل عند ثلاث مجالات ترددية مختلفة هي 2.4GHz و 915 MHz و 868 MHz بمعدلات إرسال 250 kbps و 40 kbps و 20 kbps على التوالي. ينظم عمل هذه التقنية مجموعة متكاملة من البروتوكولات يستخدم منها على مستوى الطبقتين الأدنى البروتوكول المحدد بالمعيار IEEE 802.15.4 [11]. ويحدد هذا البروتوكول خوارزميات الدخول إلى الوسط ومنها CSMA-CA والنموذج المعدل منه والذي يعتمد على تجزئ وسط الدخول زمنياً والذي يسمى الدخول المتعدد بتحسس الحامل المجزأ - Slotted CSMA-CA.

يسمح بروتوكول 802.15.4 لتقنية ZigBee بالعمل وفق نظام الدخول العشوائي بدون أي حجز مسبق وهذا ما يسمى نظام العمل دون استخدام المنارة Beacon. ويتطلب هذا النظام الاستمرار في التحسس للوسط إلى حين التمكن من الدخول مع كل ما ينتج عنه من تصادم وإعادة إرسال. وهذا يؤدي إلى استهلاك زائد للطاقة لذلك تتجنبه الشبكات التي تكون فيها مسألة إطالة عمرها مسألة ذات أولوية أو أهمية خاصة. وبالاستناد إلى ذلك فقد قمنا باستبعاد

العمل ضمن هذا النظام. وقمنا باعتماد نظام المنارة حيث يبين الشكل (2) بنية الإطار في هذه الحالة. ويمكن هنا التمييز بين السيناريوهات التالية للإرسال [11]:

- الإرسال من الجهاز إلى المنسق
- الإرسال من المنسق إلى الجهاز
- الإرسال من جهاز إلى جهاز.



الشكل(2): يبين بنية الإطار في نظام العمل بالمنارة

الإرسال من المنسق إلى الجهاز:

حين يكون لدى المنسق ما يرسله إلى أي جهاز يقوم بوضع عنوان هذا الجهاز في حقل العنوان في إطار المنارة. حين تستقبل الأجهزة إطار المنارة يتعرف الجهاز إلى عنوانه الموجود في حقل العنوان بين العناوين الأخرى. ويعرف بذلك بأن لدى المنسق معطيات يريد إرسالها إليه. في هذه الحالة يقوم بصياغة أمر طلب معطيات Data-Request Command إلى المنسق. يستقبل المنسق الطلب ويؤكد من خلال إرسال Ack. يرسل المنسق المعطيات ليقيم الجهاز بتأكيد الاستقبال أيضاً بإرسال Ack كما هو موضح في الشكل (3) [11].

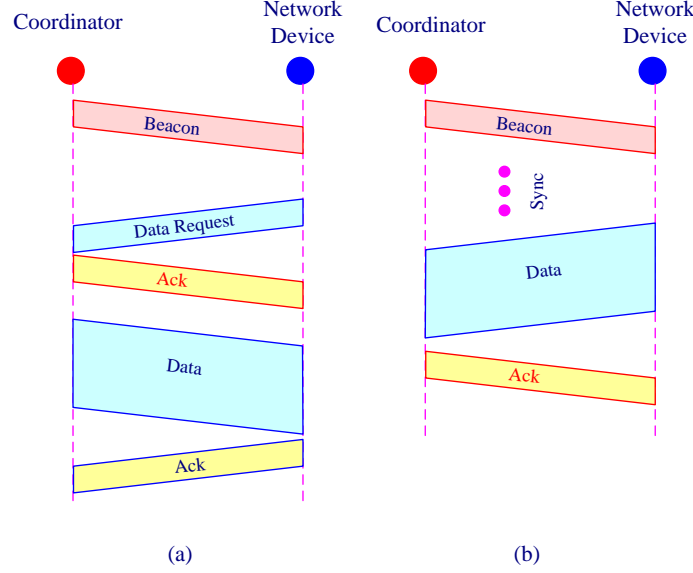
الإرسال من الجهاز إلى المنسق:

يتحسس الجهاز إطار المنارة، وعندما يكتشفه يقوم بمزامنة عمله مع الإطار الرئيس بهدف تحديد بداية ونهاية دور المنافسة للدخول إلى الوسط. يقوم باستخدام بروتوكول الدخول للوسط من أجل الحصول على دور له لإرسال معطياته. وحين فوزه بالدور اللازم يقوم بإرسال معطياته إلى المنسق. في مثل هذه الحالة فإن تأكيد الاستقبال من قبل المنسق ليس إلزامياً دائماً. في حال كونه إلزامياً فإن المنسق يقوم بالتأكيد وذلك كما يبين الشكل (4) [11].

التراسل بين الأجهزة:

هنا لا يوجد طريقة محددة بروتوكولياً ويمكن اتباع أي طريقة يتم اقتراحها حيث يمكن أن تقوم الأجهزة بالمزامنة المتبادلة، أو باستخدام البروتوكول غير المقسم للدخول المتكرر بتحسس الحامل مع تجنب التصادم unslotted

CSMA-CA. أو باستخدام البروتوكول المقسم للدخول المتكرر بتحسس الحامل مع تجنب التصادم slotted CSMA-CA.



الشكل(4): يبين سيناريوهات الإرسال عند استخدام ZigBee

تعدّ تقنية ZigBee مناسبة جداً لعدد كبير نسبياً من المشتركين لإرسال معطياتهم بمعدلات إرسال بطيئة نسبياً مما يجعلها مناسبة للاستخدام في كثير من شبكات الحساسات اللاسلكية [11].
 يتحدد زمن الإطار الرئيس في ZigBee بالفاصل الزمني بين إشارتي منارتي متتاليتين، ويمكن حسابه بالاعتماد على قيمة كل من ترتيب المنارة (BO) وترتيب الإطار الكلي (SO) Super frame order وذلك باستخدام العلاقتين التاليتين:

$$BI = aBaseSuperframeDuration \cdot 2^{BO}, 0 \leq BO \leq 14 \quad (2.1)$$

$$SD = aBaseSuperframeDuration \cdot 2^{SO}, 0 \leq SO \leq BO \quad (2.2)$$

حيث إن $aBaseSuperframeDuration$ هي القيمة الصغرى لزمن الإطار الرئيس وذلك عند $SO=0$ وهذه القيمة هي [IEEE Std. 802.15.4 2003] 15.36 ms وهذا ما يعطي الإمكانية لإرسال 250 kbit/s باستخدام المجال الترددي المخصص عند التردد [11] 2.4 GHz.

تتنافس العقد للدخول إلى الوسط الفيزيائي في زمن المنافسة CAP وذلك باستخدام بروتوكول CSMA-CA. وعلى الرغم من أن البروتوكول IEEE 802.15.4 الذي يعمل الـ ZigBee وفقاً له يعطي إمكانية لاستخدام فترة زمنية للدخول بالحجز المسبق CFP إلا أننا لم نستخدم هذه الإمكانية في بحثنا هذا.

يستخدم على مستوى الشبكة بروتوكولين هما (AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector و (HERA (Hierarchical Routing Algorithm). وقد قمنا باستخدام بروتوكول HERA الذي يعمل بكفاءة

مناسبة في جميع العقد بغض النظر عن كونها عقدة تنسيق أو توجيه، أو عقدة طرفية، وكذلك لكون المعطيات ترسل من عقد ثابتة وإلى عقد ثابتة.

خوارزمية العمل لتحسين أداء الشبكة:

يمكننا تصنيف الأجهزة المنشورة بالاعتماد على أدوار هذه الأجهزة في الشبكة والتي يختلف فيها استهلاك الطاقة باختلاف دور الجهاز. عندها سيختلف استهلاك الطاقة بين الأجهزة الطرفية والموجهات والمنسقات. وسنقوم باعتماد السيناريو التالي. نفترض أنه وبعد تشغيل الشبكة أن المنسق يأخذ علماً بوجود جميع الأجهزة في الشبكة، أي إن إضافة أي جهاز بعد ذلك غير ممكن وظيفياً. ونتيجة لذلك فإن الأجهزة المتبقية تعمل ليؤدي بعضها دور الموجهات ويؤدي الآخر دور الأجهزة الطرفية في البنية الشجرية للشبكة، وبهذا فإن الأجهزة الطرفية ليس لديها ما توصله إلى الأجهزة التي تليها لانعدام وجود الأجهزة التالية. وبالتالي فإن هذه الأجهزة الطرفية لا تحتاج لاستخدام إشارة منارة خاصة بها، وتتابع عملها في الشبكة وفقاً لإشارة المنارة للإطار الرئيس. وهذا يفتح المجال أمام تخفيض استهلاك الطاقة في هذه الأجهزة بشكل لا بأس به. تعتمد مسألة تخفيض استهلاك الطاقة هنا على إمكانية أن تخلد العقد الطرفية إلى النوم مباشرة بعد منارة الأب مهمة استقبال الإطار الرئيس، حيث تستطيع كل محطة طرفية تحديد فيما إذا كانت معنية باستقبال إطار معطيات أم لا من محتوى إطار منارة الأب. إن كون هذه الأجهزة لا تقوم بتوجيه معطيات إلى غيرها يخفض استهلاك الطاقة.

كما يرتبط استهلاك الطاقة بسرعة عمل الشبكة فكلما كانت الشبكة أسرع في عملها كانت عملية إيجاد الحل الأمثل لاستهلاك الطاقة أكثر فاعلية. حيث تقضي العقد في النوم وقتاً أقل في الشبكات السريعة. كما أن استهلاك الطاقة وموت الشبكة يتحدد كلياً بعمل الموجهات التي تفقد بطارياتها مخزونها من الطاقة بشكل أسرع مما تفقده في الأجهزة الطرفية. وللتغلب على هذا الأمر نقترح الحل التالي:

نفرض أن الشبكة مكونة من مجموعة العقد V وعددها N عقدة، $V = \{a_1, a_2, \dots, a_N\}$

تشكل كل عقدتين في مجال الرؤية المتبادلة والمباشرة حافة $edge$. نحصل في مثل هذه الحالة على بيان $GraphG = \{V, E\}$. حيث تشكل $a_i \in V$ القمم $vertices$ وتشكل $(a_i, a_j) \in E$ عقد الحواف أو الطرفيات.

حيث إن العقدة a_0 هي المنسق وهنا فإن جميع البيانات الجزئية ذات الصلة بالبيان G هي:

$$T_K, k \in \overline{1, K}$$

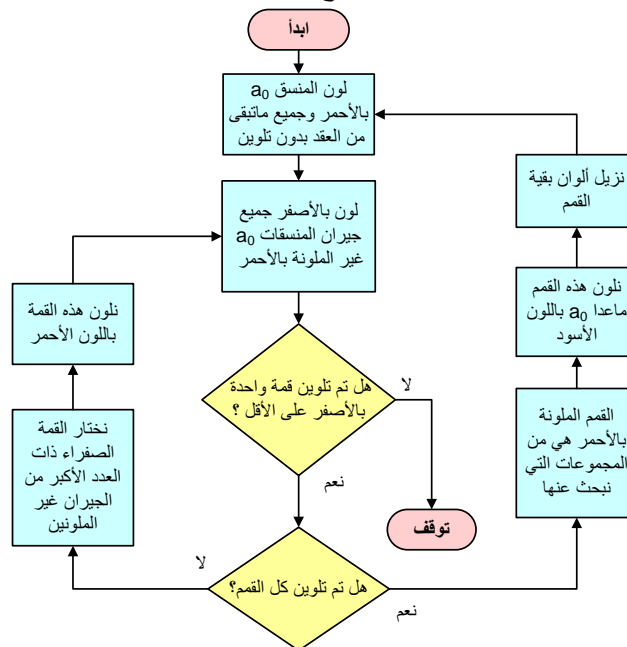
وهذا يشكل شجرة أصلها a_0 وتحوي جميع قمم البيان G ويكون R_K مجموعة المسارات للبيان T_K .

إذا قمنا بتغيير أدوار الأجهزة في الشبكة بشكل ديناميكي فإن أماننا إمكانية إطالة عمر الشبكة بالقدر الذي تسمح به بطاريات الأجهزة الطرفية تقريباً. وهذا بناء على أن كل جهاز سيقضي أغلب وقته كطرفية وليس كموجه، وسيشارك بشكل قليل في التوجيه فقط، وذلك انطلاقاً من أن الموجهات تتغير بشكل دائم وديناميكي بناء على انقضاء فترة زمنية محددة، أو بناء على هبوط الطاقة المخزنة في بطارية الجهاز تحت حد معين بنسبة مئوية اعتماداً على طبيعة عمل الشبكة. وفي جميع الحالات فإن التحديد الديناميكي لبنية الشبكة يتم من قبل المنسق بناء على الخوارزمية المطروحة حول توزيع الأدوار.

وفق ما سبق نتحول مسألة تخفيض الطاقة إلى قضية البحث عن مجموعة العقد التي ستعمل كموجهات $M\{R_{k_m}\}_{m=1}^M$ للبيان $G = \{V, E\}$ وعن عدد التشكيلات الشجرية المستقلة المتوافقة معها $\{T_m\}_{m=1}^M$ والتي تغطي كافة الشبكة.

حين كون الشبكة كبيرة فإن حل مثل هذه المسألة يتطلب وقتاً كبيراً وهذا غير عملي في بعض التطبيقات التي تتطلب العمل في الزمن الحقيقي الصارم Hard real time ويمكنها أن تعمل في التطبيقات التي تتطلب العمل في الزمن الحقيقي المرن Soft real time.

يبين الشكل (5) المخطط التدفقي للخوارزمية والذي يعطي عند تطبيقه في كل مرة بنية شجرية مستقلة. إذ يسمح تطبيق هذه الخوارزمية على بيان محدد أن نحدد أكبر عدد ممكن من مجموعات الموجهات التي ستستخدم في نموذج محدد كما يمكننا بتكرار هذه الخوارزمية تحديد العدد الأعظمي لمجموعات الأشجار المستقلة والتي يمكن الاعتماد عليها لتغيير بنية الشبكة من قبل المنسق بما يسمح بتبديل أدوار العقد.



الشكل(5): يبين سيناريوهات الإرسال عند استخدام ZigBee

كنتيجة لعمل الخوارزمية نحصل على عدد M من النماذج وعلى مجموعة R_m من الموجهات حيث $m \in \overline{1, M}$. وبالتالي الحصول على شجرة T_m بما يتوافق مع المجموعة R_m فإن الخوارزمية تقوم بما يلي: توصيل المنسق مع جميع جيرانه، ثم توصيل جيران القمم المجاورة للمنسق بجيرانها أيضاً. يتم تكرار الخطوة الثانية إلى أن تنتهي جميع العقد، فتكون العقد المتبقية هي الطرفيات.

لحل مسألة إطالة عمر الشبكة بالعمل المسند إلى العقد ندرس المجموعة الجزئية $\{R_{k_m}\}_{m=1}^M$ للمجموعة $\{R_k\}_{k=1}^K$. حيث M_i هو عدد الأجهزة التي تحوي a_i في المجموعة $\{R_{k_m}\}_{m=1}^M$. عندها يمكننا التعبير عن التيار الوسطي المستهلك في العقدة a_i بالعلاقة التالية:

$$I_i = I_R \left(\frac{M_i}{M} \right) + I_E \left(\frac{M - M_i}{M} \right) = I_E + (I_R - I_E) \frac{M_i}{M}$$

حيث I_R هي القيمة الوسطى لتيار العقدة عندما تعمل كموجه و I_E هي القيمة الوسطى لتيار العقدة عندما تعمل كطرفية وذلك خلال زمن المنارة (Beacon Interval (BI). من الطبيعي أن مسألة استهلاك طاقة البطارية وبالتالي موت العقدة مرتبط بشكل كبير باستهلاك التيار إذ يكون زمن حياة الشبكة:

$$T = \min_i \frac{Q_i}{I_i} \rightarrow \max$$

حيث Q_i شحنة البطارية في العقدة a_i . ومن أجل السهولة سنعتبر أن جميع العقد في البداية هي عقد متماثلة البطاريات أي أن $Q_i = Q$. عندها يكون:

$$\max_i I_i = I_E + (I_R - I_E) \frac{\max M_i}{M} \rightarrow \min$$

إذا كانت المجموعة $\{R_{k_m}\}_{m=1}^M$ مستقلة فإن $\max M_i = 1$ ويبقى فقط $M \rightarrow \max$. وهو الشرط الذي نبحث عنه. وهو يعبر عن محاولتنا إيجاد العدد الأعظمي لمجموعات العقد التي يمكن أن تعمل كموجهات في مجموعات الأشجار المستقلة والتي يمكن اعتمادها كنماذج شبكية يمكن التبديل بينها، والتي تحدد إمكانية تحقيق إطالة عمر الشبكة إلى الحد الأعظمي الممكن.

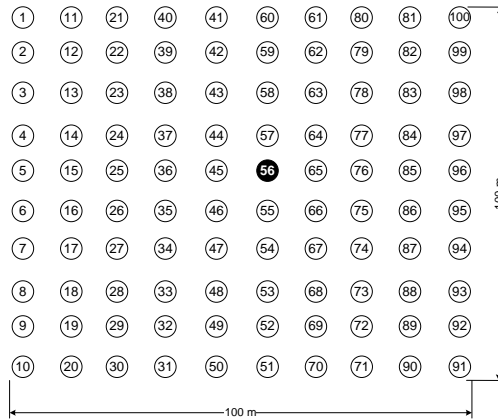
اختبار تأثير خوارزمية توزيع الأدوار على تخفيض الطاقة

لاختبار خوارزمية توزيع الأدوار في الشبكات نطبق هذه الخوارزمية وسلوكها على نموذج شبكة منشورة على مساحة مربعة. يختلف عدد نماذج الأشجار المستقلة باختلاف المسافة بين العقد وبالتالي عدد العقد التي ترتبط بكل موجه بشكل أعظمي، وهو ما يسمى نموذج التوصيل، وذلك من أجل نفس الشبكة مع بقاء المنسق ثابتاً. وقد اخترنا في بحثنا أن يكون النموذج رباعي التوصيل، أي أن كل عقدة يمكن أن تتصل بأربع عقد أخرى كحد أعظمي. كلما كان نموذج التوصيل أكبر أي كان عدد العقد التي يمكن أن تتصل بالموجه أكبر قل عدد الموجهات في الشبكة ككل. أي كلما احتفظت الشبكة بطاقة كلية أكبر في الطرفيات.

سنقوم بتطبيق الخوارزمية على شبكة محددة واختيار نموذج شبكي واحد ناتج عن هذه الخوارزمية ومقارنته مع الشبكة في حال تطبيق نموذج غير محدد، أي بدون تطبيق هذه الخوارزمية. وسنجري المحاكاة على النموذجين ونقارن استهلاك الطاقة في الحالتين وكذلك زمن حياة الشبكة في الحالتين.

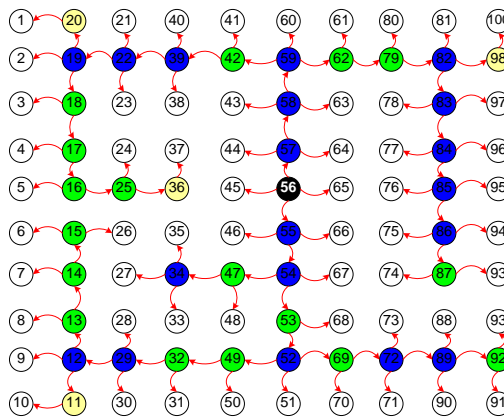
الدراسة التجريبية:

أعدت الشبكة المقترحة لاختبار الخوارزمية وتأثيرها على إطالة عمر الشبكة بحيث تعطي تصوراً واضحاً عن طيف واسع من التطبيقات. لذلك اختيرت أن تضم 100 حساس موزعة على مساحة 100×100 م². وتم تحديد أن يكون لهذه الشبكة منسق واحد لأن وجود أكثر من منسق يعطي إمكانية أن يكون أداء الشبكة أفضل، ولهذا تم اختيار الحالة الأسوأ لضمان أن تكون النتائج جيدة حتى في أسوأ حالة وذلك كما هو مبين في الشكل (6).

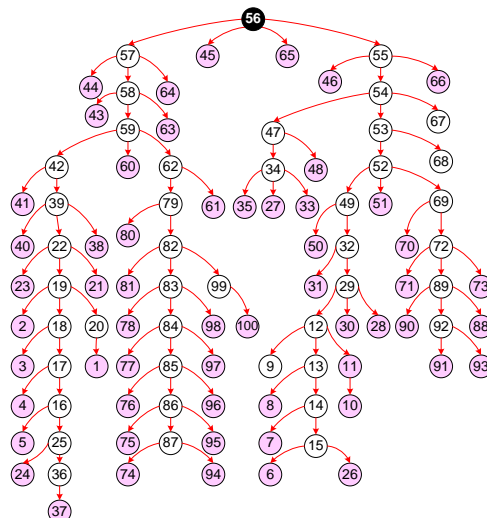


الشكل (6): توزيع الحساسات في الشبكة المقترحة

عند تطبيق الخوارزمية المقترحة لبناء النموذج الشجري للشبكة المفترضة المبينة في الشكل (6)، حصلنا على نموذج التوصيل المبين في الشكل (7) والذي بدوره يكافئ النموذج الشجري المبين في الشكل (8).

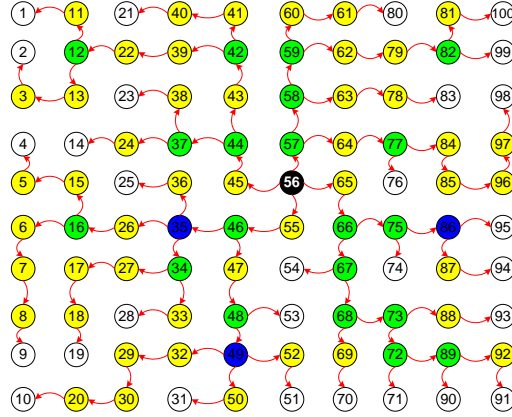


الشكل (7): نموذج توصيل الشبكة بنتيجة تطبيق الخوارزمية المقترحة

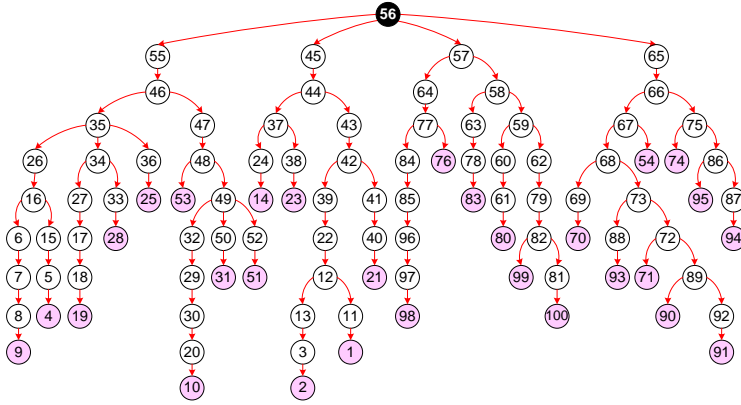


الشكل (8): النموذج الشجري المكافئ لنموذج توصيل الشبكة بنتيجة تطبيق الخوارزمية المقترحة

كما أننا استخلصنا النموذج الشجري المبين في الشكل (10) والمكافئ لنموذج توصيل عشوائي، أي بدون تطبيق الخوارزمية والذي يبينه الشكل (9).



الشكل (9): نموذج توصيل نفس الشبكة عشوائياً أي بدون تطبيق الخوارزمية المقترحة

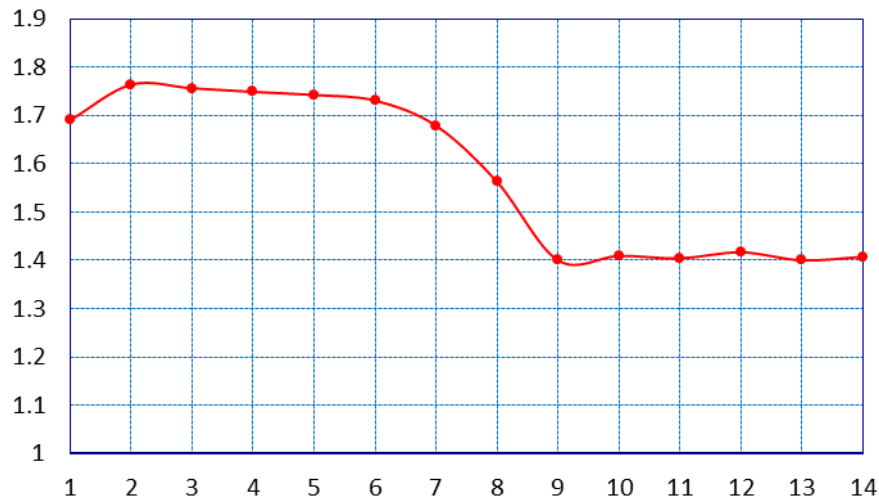


الشكل (10): النموذج الشجري المكافئ لنموذج توصيل نفس الشبكة عشوائياً أي بدون تطبيق الخوارزمية المقترحة

نلاحظ من النموذجين أن عدد الطرفيات التي نحصل عليها بنتيجة الخوارزمية الجديدة يفوق عدد الطرفيات في التوزيع العشوائي بمرتين تقريباً وهذا يعني أن استرجار التيار ينخفض بالنسبة لهذه العقد بمقدار مرتين والاسنطاعة بمقدار أربع مرات تقريباً حسب العلاقات الرياضية لاستهلاك التيار والمذكورة سابقاً.

ولتأكيد هذه الملاحظة قمنا عند هذه المرحلة بحساب التيار المستهلك في الطرفيات والتيار المستهلك في عقد التوجيه وأخذ القيم الوسطى لهذا التيار ومقارنة القيم الوسطى هذه من أجل القيم الممكنة لترتيب المنارة وبيبين الشكل (11) المخطط البياني الذي يوضح العلاقة بين نسب الاستهلاك هذه.

نلاحظ أنه وعند ارتفاع قيمة ترتيب المنارة فإن نسبة استرجار التيار تتخفض وهذا يعود إلى ازدياد عدد حالات التصادم وما ينجم عنها من إعادة إرسال وبالتالي استهلاك أكبر للطاقة في العقد الطرفية المعنية. ولكن هذه النسبة ثابتة بعد قيمة ترتيب المنارة مساوية لـ 10 كما أن هذه النسبة ثابتة عند قيم أقل من 6 لترتيب المنارة ولذلك فقد تم اختيار قيم ترتيب المنارة لتكون متغيرة في المجال من 6 إلى 10.



الشكل (11): يمثل المحور الشاقولي نسبة القيمة الوسطى لاستهلاك التيار في عقدة التوجيه إلى القيمة الوسطى لاستهلاك التيار في العقدة الطرفية عند قيم مختلفة لترتيب المنار BO المبينة على المحور الأفقي.

كما قمنا بصياغة الفرضية حول بنية ووظيفة الشبكة كما يلي:

- 1- اتصال عقد جديدة بالشبكة وإعادة تهيئة هذه العقد يحدث بشكل نادر نسبياً.
- 2- لا يتم الاتصال بين العقد المكونة للشبكة جميعها. الاتصال يتم بشكل رئيسي بين العقدة والمنسق coordinator والعكس بالعكس أي أن أي عقدة وسيطة أو موجه له دور محدد في إيصال المعطيات بين العقد والمنسق فقط دون أي تدخل في معالجة هذه المعطيات.
- 3- كمية المعطيات التي يتم توليدها في الشبكة لا تزيد عن ما تسمح به سعة هذه الشبكة. وذلك لاستبعاد تأثير إعادة الاتصال في حال حدوث تصادم ناتج عن كثافة اتصال غير مبرر. تسمح هذه الفرضية بالتمييز بين الأجهزة وفقاً لدور ووظيفة كل منها حيث يختلف مستوى استهلاك الطاقة في كل منها. إن غياب الإدارة الذاتية في العقد يقود إلى عدم الحاجة لاستخدام إطار كلي super frame خاص بالعقد الطرفية.

ضمن شروط الفرضية السابقة تصبح عملية إيجاد الحل الأمثل مرتبطة بإمكانية الأجهزة الطرفية النوم مباشرة بعد تحسس غياب منارة الإطار الكلي اعتماداً على أن الجهاز لم توجه إليه معطيات وليس لديه معطيات لإرسالها. وهذا ما يسمح بإنقاص استهلاك الطاقة بحدود 3-4 مرات كما سنظهر النتائج المبينة لاحقاً، والتي تم أخذها من أجل الحالات التالية:

الحالة الأولى: عدم نوم الطرفيات التي ليس لديها أي معطيات لإرسالها

الحالة الثانية: السماح بنوم الطرفيات بعد الإرسال أو الاستقبال إن لم يكن لديها معطيات لإرسالها.

حرصنا على انتقاء مرسل ZigBee من بين مجموعة من المرسلات التي يمكن محاكاتها بقيمتها ومواصفاتها الحقيقية باستخدام المحاكى NS2 والمبينة في الجدول (1). وقد وقع اختيارنا على Chipcon CC2430 لأن قيم استهلاكه للتيار وسطية بين مجموعة المرسلات التي عثرنا عليها من معطيات الشركات الصانعة.

الجدول(1): بعض مواصفات المرسلات/المستقبلات المستخدمة في عقد التحسس وفقاً لبروتوكول ZigBee

استهلاك التيار			الموديل	الشركة الصانعة
في حالة النوم	في الاستقبال	في الإرسال		
20nA	15.5mA	16.5mA	AT86RF230	Atmel
1.02uA	25.5mA	26.5mA	ATmega128 RZAV	Atmel
6uA	19mA	18mA	MNZB-24- A2	Meshnetics
6uA	23mA	50mA	MNZBA24- UFL	
0.5uA	26.7mA	26.9mA	CC2430	Chipcon
20nA	18.8mA	17.4mA	CC2420	
2uA	19mA	23mA	MRF24J40	Microchip

كان لابد من اختيار قيم لبطارية حقيقية كالتي تستخدم مع الحساسات التي تستخدم تقنية ZigBee المستخدمة. ولذلك قمنا باختيار البطارية التي يعمل عليها هذا المرسل وهي بطارية CR2477 حيث تعطي جهداً 3V وسعة 900mAh أي 9720 Joules.

يسمح المحاكى NS2 ببناء الشبكة وفق نموذج الشجرة ومحاكاة عملها [12]. وقد اختيرت القيم التي يعمل عندها المرسل وفق بروتوكول 802.15.4 لتكون كالآتي:

أعطي لترتيب المنارة BO القيم من 6 إلى 10 من أجل جميع حالات المحاكاة. وهذا يعطي بدوره فاصل زمني بين منارة وأخرى BI قيمته بين 0.95 و 15.73 ثانية وهذا مناسب من أجل السرعات التي فرضناها وهي إرسال رزمة واحدة لكل عقدة في أزمان أقصرها 30 ثانية وأطولها 15 دقيقة.

كما اختير زمن المنافسة بين العقد للإطار CAP بحيث تكون بين 15 و 62 ثانية وهذا مناسب لعمل شبكة بحجم 100 عقدة.

كانت الخطوة التالية أننا قمنا بتهيئة المحاكى ليعمل وفق بارامترات الجدول (2).

الجدول (2): بارامترات عمل المحاكى

البارامتر	القيمة
BO	6-10
SO	0-2
الزمن بين بداية إرسال كل رزمتين	30 and 60seconds
حجم الرزمة	64 bytes
زمن المحاكاة	900 seconds

عدد العقد	100 (including coordinator)
التيار المستهلك في الإرسال	26.9 mA
التيار المستهلك في الاستقبال	26.7 mA
التيار المستهلك في زمن النوم	0.5 μ A
عدد مرات المحاكاة	10
المسافة بين العقد	10 m
الطاقة الابتدائية (مساوية لقيمة شحنة بطارية CR2477)	9720 joules
اتجاه نقل المعطيات	من العقد الطرفية إلى المنسق

طبق سيناريو المحاكاة على النموذجين الشجريين في الشكل (8) والشكل (10) وذلك في حالتي السماح بنوم العقد الطرفية وعدم السماح بنوم هذه العقد. وذلك بتكرار المحاكاة لعشر مرات لكل حالة وأخذ القيم المتوسطة لمجموع القيم الناجمة عن محاكاة هذه الحالات. وحصلنا على زمن حياة البطارية للعقد من خلال حساب التيار الوسطي المستهلك ومن ثم حساب الزمن اللازم لتفريغ البطارية وهو زمن يعطيه المحاكي بالثواني. وقد تم تحويل هذا الزمن ليصبح بالسنوات فيسهل بيانه على المخططات وتسهل قراءته.

النتائج والمناقشة:

رسمت المخططات البيانية التي تبين تغير عمر الشبكة مع تغير ترتيب المنارة من أجل الحالتين المذكورتين السامح بنوم العقد الطرفية وتمثلها المنحنيات الموسومة بـ LT'' وعدم السماح بنوم هذه العقد LT' وحالة عدم تطبيق الخوارزمية LT ، وذلك من أجل قيم مختلفة لترتيب الإطار الكلي SO ومن أجل معدلات متغيرة لإرسال الرزم في العقد. ثم جرت مقارنة ومناقشة النتائج.

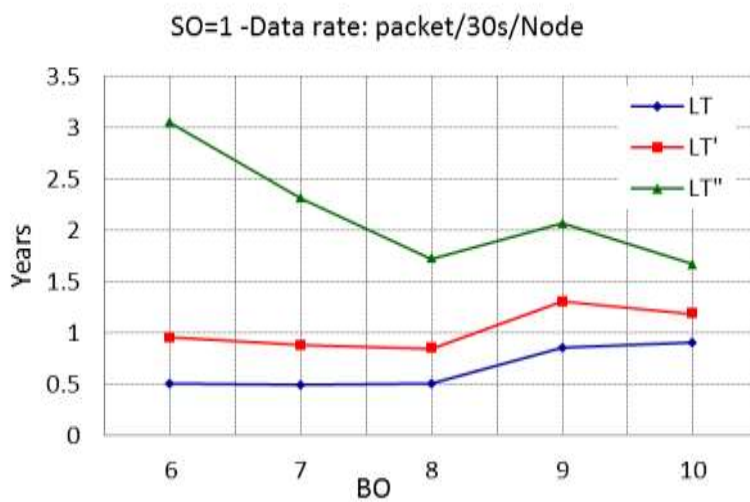
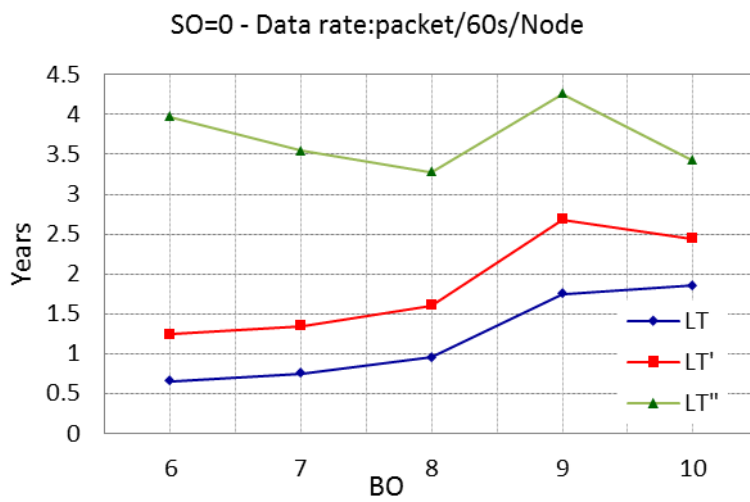
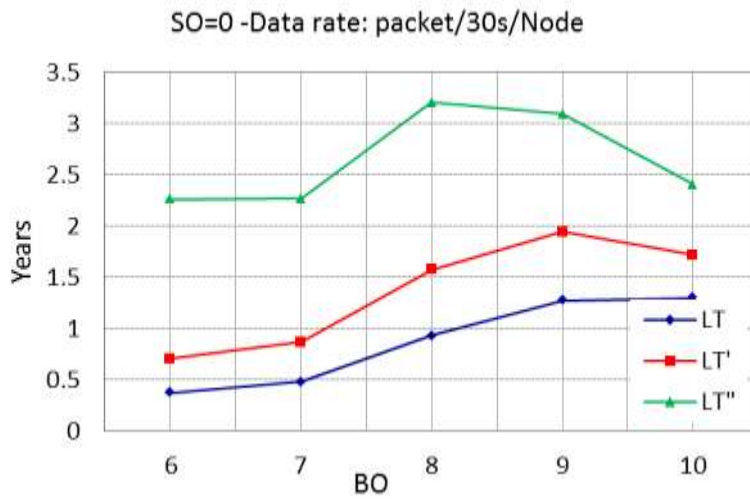
أوردنا المخططات التالية دون ترقيم لعدم الحاجة لذلك إذ أنها تحوي بداخلها جميع المعطيات والدلالات التي تبين الهدف منها وجميع البارامترات الدالة على سيناريو المحاكاة.

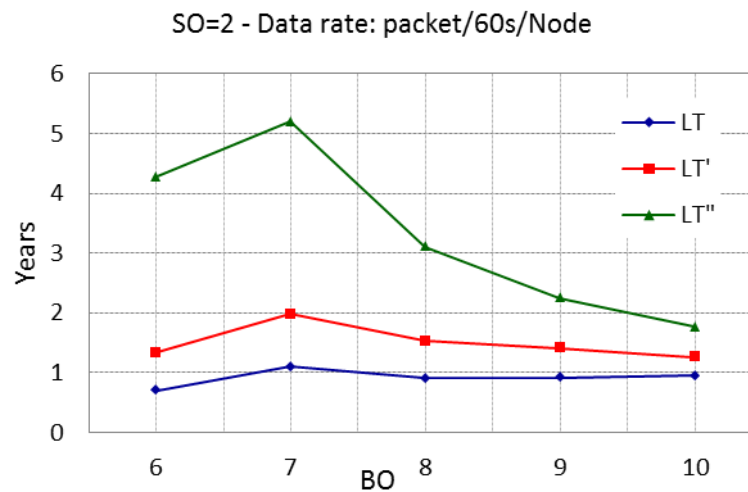
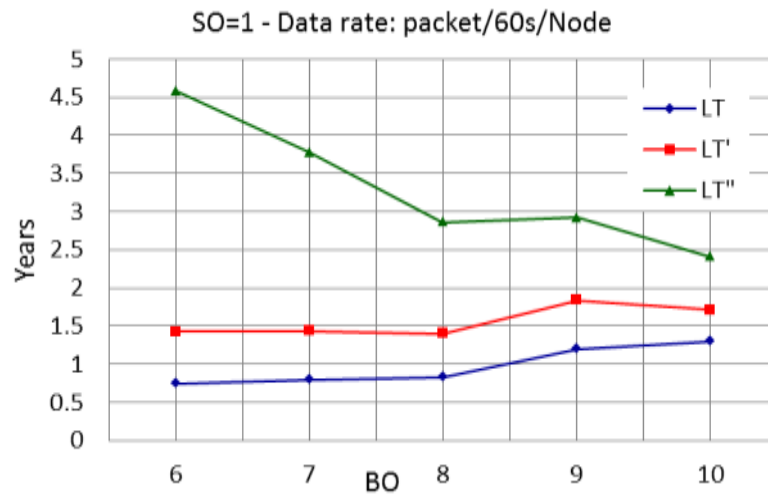
يظهر استخدام الخوارزمية تحسناً كبيراً في زمن حياة الشبكة يتراوح بين 2 و 4 مرات وذلك حسب السماح بنوم واستيقاظ العقد أو عدم السماح بذلك. إذ أن السماح بالنوم والاستيقاظ يؤمن وفراً إضافياً بالطاقة يؤدي بالنتيجة إلى زيادة عمر الشبكة بمقدار الضعف عن حالة عدم السماح بالنوم والاستيقاظ.

من المخططات نلاحظ نقصان عمر الشبكة مع ازدياد ترتيب المنارة وهذا يعود لسببين الأول ازدياد عدد مرات الإيقاظ والنوم والثاني ازدياد استهلاك الطاقة في الموجهات مما يسرع في الحاجة لاستبدال دورها. كما أنه يتعلق بزيادة عدد العقد المتنافسة للفوز بدور في الإرسال.

كما لا بد من التأكيد على كون انخفاض انحدار المنحني مع تزايد ترتيب المنارة يعود إلى كثرة عدد التصادمات التي تحدث بسبب ذلك مما يؤدي إلى صرف طاقة إضافية على إعادة الإرسال.

ومن الواضح أيضاً أن اختيار ترتيب الإطار يؤثر على زمن حياة الشبكة ككل. فكلما صغر ترتيب الإطار زاد عمر الشبكة. وهذا يعود إلى أن صغر ترتيب الإطار يعطي زمن إطار أصغر وبالتالي فإن الطاقة التي تستهلك للإرسال إطار واحد عند ترتيب إطار كلي مساو للصفر هي أقل من الطاقة المستهلكة لإرسال إطار عند ترتيب مساو للواحد وهكذا. وهذا ما يبرر النتائج التي تبينها المخططات.

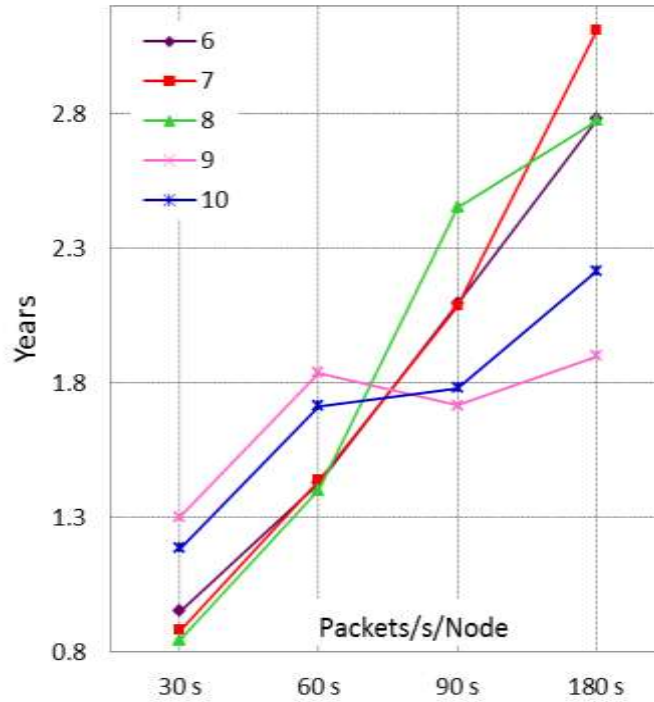




ونظراً للاختلافات البسيطة في النتائج التي ظهرت عند بعض قيم ترتيب المنارة فقد قمنا برسم المخطط البياني لتغيير عمر الشبكة من أجل قيم مختلفة لمعدلات إرسال العقد للوزم مع قيم محددة لترتيب المنارة مع ثبات قيمة ترتيب الإطار مع تغيير بسيط في بارامترات المحاكاة تضمن أن نعطي مجالاً أكبر لتغيير معدلات الإرسال ليشمل رزمة واحدة

كل 90 ثانية و أيضاً رزمة واحدة كل 180 ثانية. وقد لاحظنا بنتيجة ذلك ازدياد عمر الشبكة مع تزايد ترتيب المنارة ومع تناقص معدلات الإرسال. كما نلاحظ أن هناك شذوذاً بسيطاً عن هذه القاعدة عند استخدام ترتيب منارة 9 و 10 من أجل انخفاض معدل الإرسال من 60 ثانية بين رزمين إلى 90 ثانية بين رزمين. ويعود ذلك إلى التصادم الذي يأخذ قيمة عشوائية في المحاكى وإلى اختلاف نسبة استهلاك التيار الناتجة عن ذلك عند هذه القيم حسب ما تبينه النتائج. ولا بد من ملاحظة أن هذه القيم الشاذة لا تؤثر على عمومية الاستنتاج حيث بقيت النسبة بين زمن حياة الشبكة عند نفس البارامترات مع اختلاف قيم ترتيب المنارة ثابتة.

SO=1, BO=6, 7, 8, 9, and 10



الاستنتاجات والتوصيات:

لقد بينت الدراسة أن استخدام الخوارزمية لتوزيع الأدوار يؤثر إيجاباً وبشكل كبير على إطالة عمر الشبكة المعتمدة على بروتوكول ZigBee ككل، وذلك لكونها تضمن أن لا يتم استخدام العقد بدور محدد ومستمر، يتطلب منها استهلاكاً كبيراً للطاقة، كأن تكون بشكل دائم عقد توجيه. وبالتالي تجنب نفاذ شحنة بطارياتها بسرعة وخروجها من العمل، وبالتالي تضرر الشبكة ككل أو توقف عملها.

إن إتاحة المجال أمام منسق الشبكة للتحكم بتوزيع الأدوار مركزياً وفقاً للنماذج الشجرية المستقلة التي تنتجها الخوارزمية يضمن إطالة عمر الشبكة لقيم تتراوح بين ضعفين إلى أربعة أضعاف. حسب سيناريوهات العمل.

كما تسمح إمكانية أن تلجأ العقد التي تؤدي دور الطرفيات في الشبكة المعتمدة على بروتوكول ZigBee إلى النوم إذا لم يكن لديها ما ترسله، بإطالة عمر هذه الشبكة بشكل ملحوظ.

وعلى الرغم من النتائج المشجعة التي حصلنا عليها إلا أننا لا ننصح باستخدام هذه الخوارزمية حين ازدياد عدد الحساسات التي تتعامل مع منسق واحد بشكل كبير وذلك بسبب زيادة حمل المعطيات وبالتالي زيادة عدد التصادمات.

أي أن هذه الخوارزمية قد لا تناسب الشبكات ذات الحجم الكبير. ولكننا في مثل هذه الشبكات ننصح باستخدام أكثر من منسق بحسب الحاجة بحيث لا يتعامل المنسق الواحد في بنيته الشجرية الجزئية التابعة له مع عدد كبير من الحساسات. ويبقى تحديد عدد الحساسات في كل شجرة تابعاً ومرتبباً بسرعة إرسال المعطيات وبترتيب المنارة وترتيب الإطار الرئيس للمنسق.

المراجع:

- 1- Jennifer Yick, Biswanath Mukherjee, DipakGhosal, "Wireless sensor network survey," Computer Networks, Elsevier Publications, vol. 52, pp. 2229–2330, 2008.
- 2- Z. Xu, Yue Yin, Jin Wang and Jeong-UkKim "An Energy-Efficient Clustering Algorithm in WSN with Multiple Sinks", International Journal of Distributed Sensor Network, 2012.
- 3- K. Padmanabhan, Dr. P. Kamalakkannan "Energy Efficient Adaptive Protocol for Clustered Wireless Sensor Networks" IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol. 8, Issue 5, No 1, September 2013
- 4- Tony Ducrocq, Michaël Hauspie, and Nathalie Mitton; Balancing Energy Consumption in Clustered; Wireless Sensor Networks; ISRN Sensor Networks; September 2013.
- 5- Gun M., Kosar R., Ersoy C. Lifetime optimization using variable battery capacities and nonuniform density deployment in wireless sensor networks // Computer and information sciences, 2007. iscis 2007. 22nd international symposium on. 2007. P. 1–6.
- 6- Halder S., Ghosal A., Chaudhuri A., DasBit S. A probability density function for energy-balanced lifetime-enhancing node deployment in WSN // Proceedings of the 2011 international conference on Computational science and its applications - Volume Part IV. ICCSA'11. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2012. P. 472–487.
- 7- Chen Y., Nasser N. Energy-balancing multipath routing protocol for wireless sensor networks // Proceedings of the 3rd international conference on Quality of service in heterogeneous wired/wireless networks. Shine '06. New York, NY, USA: ACM, 2006.
- 8- Zhang H., Shen H. Balancing Energy Consumption to Maximize Network Lifetime in Data-Gathering Sensor Networks // IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst. 2009. Vol. 20, no. 10. P. 1526–1539.
- 9- Soro S., Heinzelman W. B. Prolonging the lifetime of wireless sensor networks via unequal clustering // Proceedings of the 19th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS'05). IPDPS '05. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2005. P. 236–243.
- 10- Joe Hoffat, Kevin Klues, Obi Orjih. "Configuring the IEEE 802.15.4 MAC layer for single sink wireless sensor network applications". Washington University, St. Louis, Missouri, 2005.
- 11- IEEE Std. 802.15.4, 2003: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). Approved 12 May 2003.
- 12- Introduction to Network Simulator NS2; TeerawatIssariyakul ,EkramHossain; 2009 Springer.