

## تخفيض استهلاك الطاقة في شبكات الحساسات اللاسلكية ذات بنية شجرة العناقيد المعتمدة على بروتوكول ZigBee

الدكتور معين يونس\*  
شذا جرجا\*\*

(تاريخ الإيداع 24 / 9 / 2014. قُبِلَ للنشر في 16 / 11 / 2014)

### □ ملخص □

تظهر أهمية شبكات الحساسات اللاسلكية (WSN) wireless sensor networks باستخدامها في تطبيقاتٍ عديدة في مجالات الحياة المختلفة، كالرعاية الصحية، والمراقبة البيئية، والمجالات العسكرية والاقتصادية و الأتمتة الصناعية وتطبيقات عديدة أخرى.

ويحتل تطوير هذه الشبكات وتحسين أدائها حيزاً هاماً من اهتمام مراكز الأبحاث والمعاهد العلمية المختصة. كما أن الاهتمام ببنى هذه الشبكات كمدخل إلى تحسين أدائها يعدُّ واحداً من أهم التقنيات والأساليب التي أعطت نتائج جيدة في هذا المجال، وتُعدُّ البنية العنقودية واحدة من أهم البنى التي حظيت بالاهتمام المتزايد على مدى السنوات الأخيرة.

اقترح في هذا البحث تعديل بنية شجرة العناقيد Cluster tree بتقسيم العناقيد المكونة لشجرة العناقيد إلى مجموعات فرعية، وكل مجموعة من هذه المجموعات الفرعية تعمل كشجرة صغيرة من العقد. وتشير النتائج التي تم الحصول عليها بطريقة المحاكاة، إلى تحسن كبير على صعيد تقليل استهلاك الطاقة ومن ثمَّ زيادة في زمن حياة الشبكة، أي ضمان عمل الشبكة لفترات إضافية أطول، وذلك مقارنة بشجرة العناقيد التقليدية. ولكن ذلك كان على حساب انخفاض معدلات الإرسال ونسبة التسليم قليلاً في هذه الشبكات. مما يدفعنا إلى التوصية باستخدام هذه الطريقة بناء الشبكات المستخدمة في مراقبة الزراعات المحمية وغيرها من الشبكات ذات معدلات الإرسال المنخفضة.

**الكلمات المفتاحية:** شبكات الحساسات اللاسلكية، استهلاك الطاقة، شجرة العناقيد، زمن حياة الشبكة، ZigBee.

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

## Minimization of Power Consumption in ZigBee-Based Cluster Tree Wireless Sensor Network

Dr. Mouin Yunis\*  
Shaza Jaraa\*\*

(Received 24 / 9 / 2014. Accepted 16 / 11 / 2014)

### □ ABSTRACT □

Wireless Sensor Networks (WSN) have applications in many different areas of life, such as health care, environmental monitoring, and military and economic areas and in industrial automation and many other applications.

The development of these networks and the improvement of their performance occupy an important place of interest in research centers and specialized scientific institutes. The interest in these structures as a way to improve the performance of these networks leads to good results in this area. The cluster structure is one of the most important structures that have received increasing attention over recent years.

This research suggested a modification of the structure of the cluster tree WSN dividing clusters into sub-groups, and each group of these sub-groups operates like a tree from a small amount of nodes. The results that have been obtained by means of simulation indicate a significant improvement in terms of reducing energy consumption and thus an increase in the lifetime of the network, as compared to traditional cluster tree WSN. But that was at the expense of slightly lower rates of transmission and delivery ratio in the nodes of these networks. This leads us to recommend using this method to build the networks used to monitor protected agriculture and other networks with low transmission rates.

**Keywords:** Wireless Sensor Networks; Energy Consumption; Cluster Tree; Network Life Time; ZigBee.

---

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

\*\*MSc.; Department of Communication & Electronic; Faculty of Mechanical & Electrical Engineering; University of Tishreen, Lattakia, Syria.

## مقدمة:

تعرف شبكة الحساسات اللاسلكية WSN بأنها شبكة مكونة من مجموعة من العقد الحساسة، المنتشرة في وسط ما، تتحسس البيئة التي توجد فيها من خلال المعلومات المجمعة عبر اتصال لاسلكي، وتنتقل البيانات بشكل رزم عبر الشبكة، عن طريق قفزات تمر من خلال بوابات عبور، إذ يمكن استخدامها محلياً أو تتصل مع شبكات أخرى مثل الانترنت.

العقدة هي المكون الرئيس في الشبكة (فقد تكون طرفية حساسة أو موجه أو رأس عقود. . . . .) وقد تكون ثابتة أو متحركة [1].

ونظراً لأهمية هذه الشبكات وتطبيقاتها العديدة كان لا بدّ من الاهتمام بالأداء، وأداء الشبكة هو عملها وإنجازها لمهامها في إيصال البيانات للوجهة المطلوبة وبأفضل الطرائق، ومعرفة العوامل المؤثرة في الأداء للعمل على تحسينها ومن ثمّ تحسين الأداء والعمل المطلوب إنجازه من الشبكة. ومن أهم تلك العوامل طريقة انتقال البيانات بين العقد المكونة للشبكة، وطريقة توزيع تلك المكونات وكذلك مقدار استهلاك الطاقة من قبل الحساسات، إذ إنّ التقليل من مقدار الطاقة المصروفة سيضمن عمل الشبكة لفترات زمنية أطول، من خلال إطالة زمن حياة العقد الحساسة، دون الحاجة لتجديد مصدر الطاقة داخل الحساس.

اهتمت العديد من الدراسات بأداء شبكة الحساسات اللاسلكية، بشكل عام وبمشكلة زمن حياة العقد وزيادة نسبة التسليم بشكل خاص.

فاهتمت الأبحاث [2],[3] بتنظيم العقد المكونة للشبكة ضمن عناقيد إذ تمّ إثبات أن زمن حياة الشبكة ذات العناقيد أكبر منه في حالة الشبكة اللاعنقودية [2]. يوجد لكل عنقود رأس (CH) مسؤول عنه، يقوم باستقبال الرزم من كل العقد الموجودة في عنقوده ليجمعها ويرسلها لمحطة القاعدة (BS) (Base Station) الموجودة خارج منطقة المراقبة.

وبين البحث [4] أن الرأس يتصرف كمتحكم مركزي، لكنه يعاني من نقص شديد في الطاقة نتيجةً لتعامله مع رؤوس العناقيد الأخرى بقفزات متعددة، وهكذا فإن معدل استهلاك الطاقة في الرأس أكبر من أي عقدة أخرى، ولكي يبقى التواصل مع كل الشبكة من المهم جداً أن تبقى الرؤوس القريبة من الـ BS (Base Station) حيةً طالما أمكن ذلك، ولذا فإن عدد العقد في العناقيد الأقرب للمحطة أصغر منه في العناقيد الأبعد.

لجأت بعض الأبحاث إلى إدخال العقدة في طور سبات عند عدم الحاجة إليها، وفيه يتم إقفال معظم داراتها الراديوية أي يتم توفير الطاقة، ثم العودة للعمل والدخول في طور الفاعلية [5],[6],[7].

كما بينت أبحاث أخرى أنه يمكن تحسين الأداء بالتقليل من استهلاك الطاقة بتخفيض حجم الرزمة المرسل من قبل كل عقدة للرأس [8]. وذلك من خلال إجراء عملية ضغط في الطرف المرسل، ثم عملية فك الضغط في طرف الاستقبال، أبدت هذه الطريقة فعاليتها عند الإرسال من قبل كل عقدة لمفردها للوجهة المطلوبة، لكن توجد صعوبة في تطبيق هذه الطريقة عندما يتم الإرسال عبر عدة عقد متتالية.

بينما لجأت أبحاث أخرى إلى ذلك من خلال وضع بروتوكولات جديدة لحفظ الطاقة عند عمليات تجميع البيانات والمعالجة [8],[9]. واستنتجت أبحاث أخرى خوارزميات لتحسين أداء الشبكة [10],[11],[12],[13]، للتقليل من استهلاك الطاقة وزيادة زمن حياة الشبكة حيث يتم اختيار رؤوس العناقيد بشكل ديناميكي، لكن تظهر سلبية هذه الخوارزميات عندما تضطر رؤوس العناقيد إلى بث رسائل لكل العقد المجاورة وذلك باستهلاك إضافي زائد للطاقة.

عملت خوارزمية (unequal clustering size (UCS) على تحقيق توازن في استهلاك الطاقة من خلال التحكم بحجم العنقود من خلال البعد بين رأس العنقود والمحطة، وكذلك التحكم بزواوية العنقود، مما أدى إلى زيادة في زمن حياة الشبكة [14]. كما وُحِدَ حجم مثالي للعنقود لإطالة زمن حياة الشبكة [15]، لكن مع ازدياد عدد العقد الميئة في الشبكة كان من الصعب التحكم بحجم العنقود وبتوزيع العناقيد عملياً. قامت بعض الأبحاث ذات التطبيقات الخاصة بإضافة وحدات جديدة للعقدة الحساسة مثل: وحدة تحديد الموقع، وحدة مولد طاقة [16] لتحسين أداء العقدة ومن ثم الشبكة. لكن تبقى مثل هذه الدراسات صعبة التطبيق لعدم توافر المتطلبات والإمكانات اللازمة.

كانت الدراسة [17] لتحقيق الأهداف المرجوة من شبكات الحساسات متعددة الاستخدام، دون حدوث أي تداخل، ولحل مشكلة ضيق الطيف الترددي حيث لم توجد أية بروتوكولات سابقة لإدارة الطيف، واقترحت إيجاد تصاميم جديدة تضمن تعيين ترددات مختلفة لعقد مختلفة وفي أزمنة مختلفة وفي مواقع مختلفة، فكان اقتراح طبقة الـ SAS (Self-adaptive spectrum management service) فوق الطبقة الفيزيائية، لتحقيق خدمة أفضل في إدارة الطيف. ويبقى التحقيق العملي لمثل هذه الدراسات صعباً لعدم توافر الإمكانيات اللازمة ولما سيترافق معه من تطوير توابع زائدة في الطبقات العليا.

عملت الأبحاث [18],[19] على تحسين الأداء وإطالة زمن حياة الشبكة، من خلال ما سُمي التحكم بالتدفق المثالي إذ تمّ الأخذ في الحسبان الازدحام الحاصل في الوصلة وكذلك فعالية الطاقة لكل حساس. تظهر خصوصية تلك الأبحاث بوضعها نموذج النظام المستخدم والذي يعتمد على خوارزميات انتشار العقد، لتنظيم الحركة مابين المكونات.

اقترح البحث [20] خطة عمل لتحسين أداء الشبكة بزيادة زمن الحياة لشبكة حساسات لاسلكية خطية (أي توضع خطي) وذلك بتخفيض حجم البيانات المنقولة وتحقيق التوازن في التدفق، حيث بينت الدراسة أن المردود أعظمي أي تحقيق أفضل زيادة ممكنة في حياة الشبكة عندما يتم العمل على كل من ضغط البيانات والتحكم في تدفقها بنفس الوقت. أما خصوصية هذه الدراسة فهي أنها تستخدم عندما يكون توضع الحساسات بشكل خطي متسلسل كما في شبكات مراقبة خطوط نقل الطاقة والغاز ومراقبة الطرق العامة وغيرها.

قام الباحثون في [22] و [23] و [24] باقتراح تطبيق شجرة العناقيد لتخفيض استهلاك الطاقة مع المحافظة على معدل إرسال البيانات وكذلك المحافظة على معدل تسليم عال للرزق بين الطرفيات والمحطة القاعدية. وسيهتم بحثنا هذا بتعديل خوارزمية شجرة العناقيد بما يؤمن استهلاكاً أقل للطاقة مع عدم انخفاض معدل الإرسال تحت الحد الذي يضمن عمل شبكات WSN في التطبيقات المقترحة بشكل جيد.

### أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية هذا البحث في اقتراح المحاكاة الحاسوبية خوارزمية جديدة يمكن اعتبارها تعديلاً على خوارزمية شجرة العناقيد المتبعة في شبكات الحساسات اللاسلكية. ويمكن تقييم هذه الخوارزمية من خلال التطبيقات المناسبة التي تم اقتراحها بناء على نتائج البحث وذلك باستخدام المحاكاة الحاسوبية. يهدف البحث إلى تحسين أداء شبكات الحساسات اللاسلكية العاملة بمعدلات نقل منخفضة نسبياً من خلال اقتراح الخوارزمية الجديدة واختبارها في المجالات المناسبة للتطبيق.

**طرائق البحث ومواده:**

تمّ في هذا البحث اقتراح واختبار خوارزمية تعمل على تعديل بنية شجرة العناقيد بما يؤدي إلى تقليل استهلاك الطاقة وذلك من خلال:

- دراسة نظرية وتجريبية لهذه الشبكات بالاعتماد على استخدام IEEE 802.15.4 أي تقنية ZigBee
- اقتراح التعديل المذكور.
- اختبار هذه الشبكة التي تستخدم هذا التعديل باستخدام المحاكى NS-2
- دراسة تأثير تطبيق هذه الخوارزمية على تخفيض استهلاك الطاقة في العقد وعلى نسبة تسليم الرزم في حالتها تطبيقها وعدم تطبيقها على شبكة حساسات لاسلكية تعمل وفقاً للعقدة الشجرية.

**1- الطريقة المقترحة**

يهدف تحسين الأداء وزيادة زمن حياة الشبكة، اقترح البحث تقسيم العناقيد المكونة للشبكة إلى مجموعات فرعية، وذلك حسب مستوى طاقة العقد الداخلة في تركيب كل عنقود، إذ يتم تمثيل كل مجموعة فرعية بالعقدة ذات الطاقة الأعلى، وسنطلق على هذه العقدة اسم المندوب.

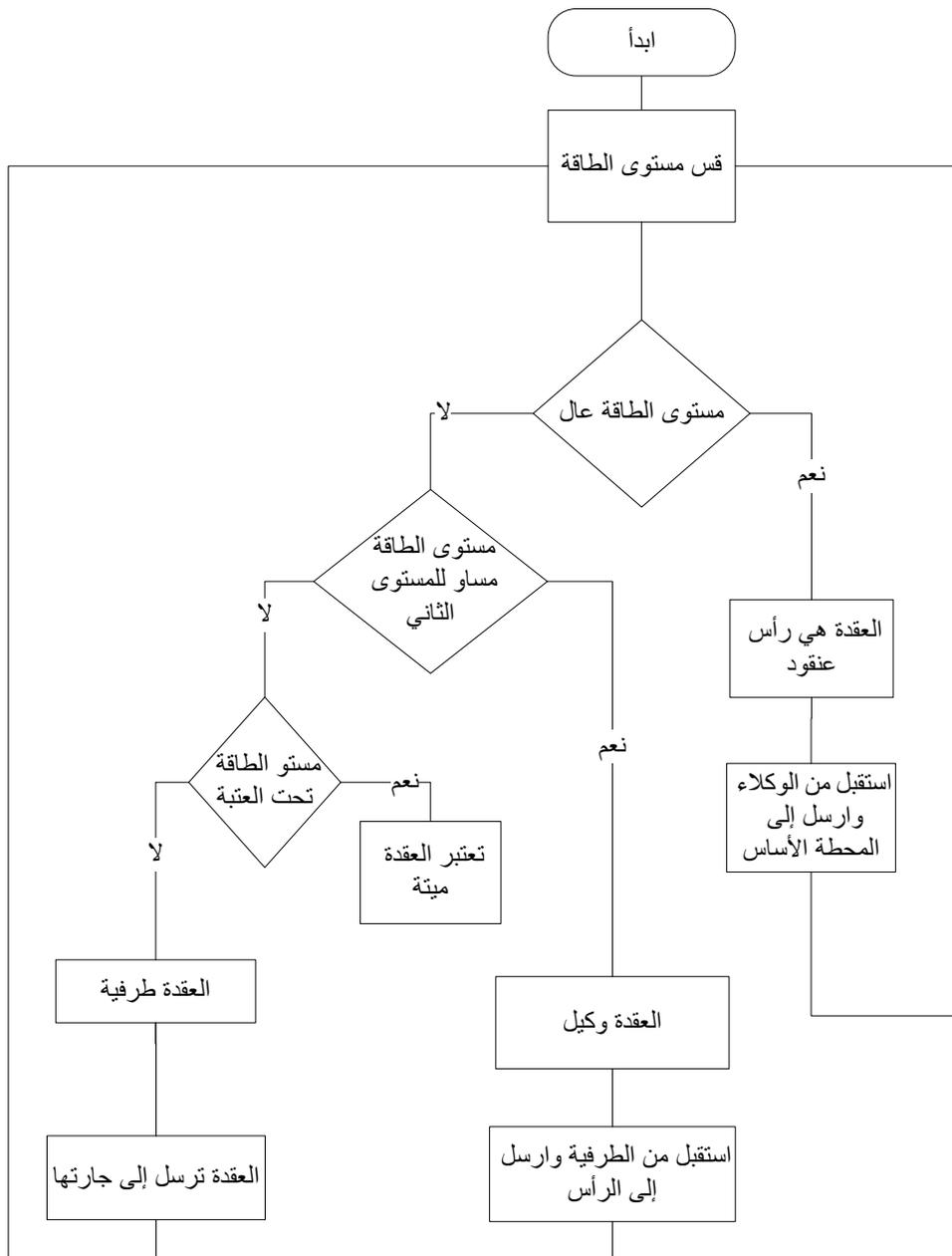
أي إنّ حدود كل مجموعة فرعية هي حدود مجال الإشعاع الراديوي للمندوب، يتعامل المندوب مع رأس العنقود بدلاً عن كل العقد الموجودة في مجموعته الفرعية، وذلك بعد قيامه بتجميع ومعالجة الرزم الواردة من العقد التابعة إليه. وعندها سيتم اختصار الطاقة المصروفة على إرسال الرزمة من خلال:

1. اختصار المسافة من خلال التعامل مع العقدة الأقرب فالأقرب على مستوى المجموعة الفرعية الواحدة وصولاً للمندوب.

2. اختصار عدد الرزم المنقولة عبر الشبكة، من خلال التعامل بين المندوبين ورأس العنقود بدلاً من التعامل كل العقد مع الرأس.

بعد كل عملية إرسال لل BS سيتم اختبار سوية الطاقة لرأس العنقود وللمندوبين، للتأكد من أن رأس العنقود مازال صاحب الطاقة الأعلى في العنقود، وأن المندوب مازال صاحب الطاقة الأعلى في المجموعة الفرعية. فعندما تنخفض سوية الطاقة لدى الرأس بحيث لا تكون هي السوية الأعلى بين عقد العنقود، ولن تبقى هذه العقدة بهذا الدور بل ستجري عملية انتخاب لرأس جديد، أيضاً حسب سوية الطاقة الأعلى.

عندما تنخفض سوية الطاقة لدى المندوب بحيث لا تكون هي السوية الأعلى بين عقد المجموعة الفرعية، لن تبقى هذه العقدة بهذا الدور بل ستجري عملية انتخاب لمندوب جديد، أيضاً حسب سوية الطاقة الأعلى ضمن المجموعة الفرعية، لتظهر العقدة صاحبة الطاقة الأعلى بدور المندوب الجديد. ويوضح الشكل (1) المخطط التدفقي للخوارزمية المقترحة.



الشكل (1) المخطط التدفقي للطريقة المقترحة للإرسال عبر المندوب.

سنعتبر أنّ الشبكة المدروسة تتحمل التأخير (delay tolerant) أي إن المهم في هذه الشبكة هو تحصيل البيانات وليس الزمن المستغرق في الحصول عليها. تتحمل البيانات المنقولة أن يتم نقلها بمعدل منخفض بما لا يؤثر في اعتبارات المعالجة في الزمن الحقيقي. وأن الشبكة مكونة من  $N$  عقدة حساسة متشابهة من حيث البنية والتكوين والاختلاف فقط بسوية الطاقة لكل حساس، ومزروعة في أماكن محددة ومن الصعب الوصول إليها لتجديد مصدر الطاقة. ولكل العقد بيانات لترسلها عند ورود الرزمة من العقدة السابقة.

يوجد للعقد عدة أنواع:

- ◊ العقد الطرفية الحساسة ذات العدد الأكبر والطاقة الأصغر.
  - ◊ المندوبان agents وكل مندوب هو عبارة عن عقدة لها طاقة أكبر من طاقة العقد الطرفية الحساسة وأقل من طاقة الرأس، بمعدل مندوب واحد لكل مجموعة من العقد الحساسة (وهي العقد الواقعة ضمن حدود مجاله).
  - ◊ رأس العنقود CH (Cluster head) وهو عبارة عن العقدة ذات الطاقة الأكبر في العنقود. بمعدل رأس واحد لكل مجموعة من المندوبين الموجودة ضمن عنقوده. يحدث وأن يلعب رأس العنقود دور مندوب لمجموعة من العقد لا تنتمي لأية مجموعة فرعية ضمنه، فتقوم هذه العقد بإرسال رزمة تحمل بيانات كل منها، عن طريق المرور عبرها بالاعتماد على نفس الآلية ضمن كل مجموعة فرعية (الأقرب فالأقرب) حتى الوصول للرأس.
  - ◊ لكل عقدة في الشبكة مهما كان نوعها عنوان خاص بها.
  - ◊ توجد في الشبكة محطة BS متوضعة خارج منطقة المراقبة.
- ويبين الشكل(2) المخطط العام لطريقة الإرسال المباشر. بينما يبين الشكل (3) المخطط العام في الطريقة المقترحة (الإرسال عبر المندوب).

مع ملاحظة أن استهلاك الطاقة في حالة الإرسال يتعلق أيضاً بالمسافة ما بين المرسل والمستقبل وكذلك طول الرسالة ونوع الـ Data الموجودة، كما أن الطاقة الكلية المستهلكة أثناء إرسال الرزمة يعبر عنها بالعلاقة الآتية[25]:

$$E_{TOTAL} = E_T + E_{cpu} + E_R \quad (1)$$

حيث:

$E_T$  الطاقة المصروفة على إرسال البت الواحد.  
 $E_{cpu}$  الطاقة المصروفة على المعالجة، على اعتبار أن كل عقدة ستقوم بمعالجة البيانات المستقبلية من العقدة السابقة وتضيف بياناتها الخاصة.  
 $E_R$  الطاقة المصروفة على الاستقبال.

$$E_T = E_{elec} + E_{amp} \cdot d^\gamma \quad (2)$$

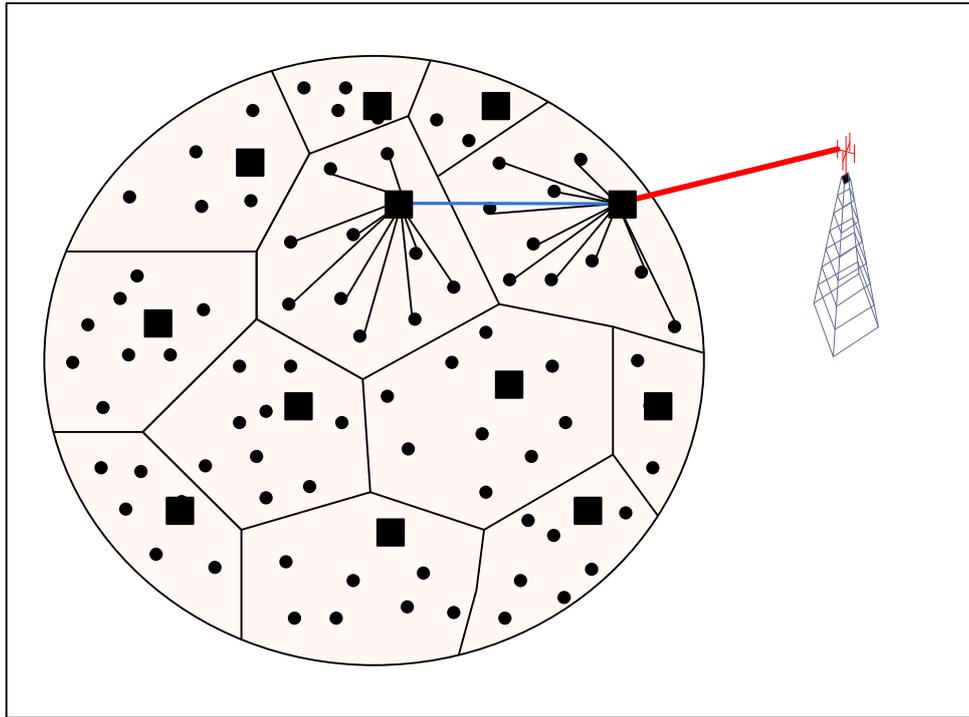
$$E_R = E_{elec} \quad (3)$$

حيث:

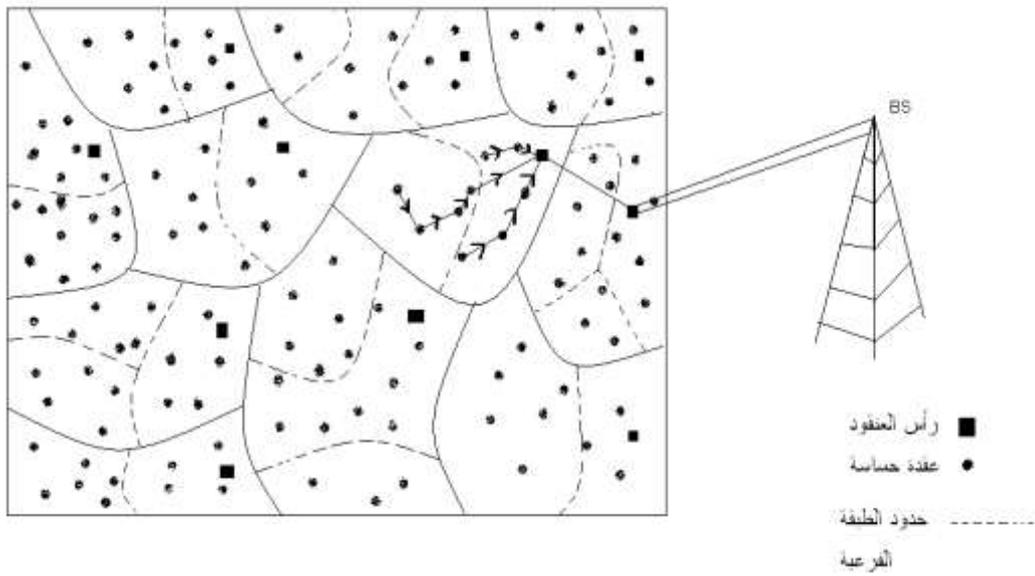
$d$ : المسافة بين المرسل والمستقبل.  
 $\gamma$ : عامل الضياع أثناء الانتشار ويأخذ القيم (2 or 4). [14],[26].  
 $E_{elec}$ : الطاقة الكهربائية المصروفة للبت الواحد.  
 $E_{amp}$ : طاقة التضخيم.

من أجل رزمة بطول  $L$  تصبح العلاقة المعبرة عن الطاقة الكلية المصروفة أثناء إرسال الرزمة واستقبالها بالشكل الآتي[25]:

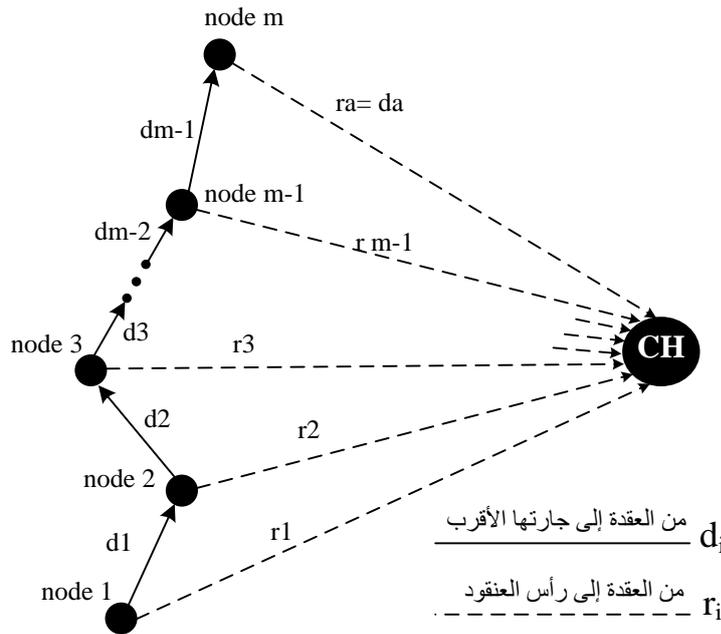
$$E_{TOTAL} = L(2E_{elec} + E_{cpu} + E_{amp} \cdot d^\gamma) \quad (4)$$



الشكل (2): المخطط العام للشبكة في طريقة الإرسال المباشر



الشكل (3): المخطط العام للشبكة في الطريقة المقترحة (الإرسال عبر المندوب)



الشكل (4) مخطط للمقارنة بين مسار الرزمة في حالة الإرسال المباشر والطريقة المقترحة على مستوى مجموعة فرعية واحدة.

يبين الشكل (4) مخطط يوضح الفرق بين طريقة انتقال البيانات في كل من الطريقتين التقليدية والمقترحة. كما هو معروف فإن الطاقة المصروفة على إرسال الرزمة وكذلك زمن الإرسال يتعلق بطول الرزمة وبالمسافة بين المرسل والمستقبل.

باتباع طريقة التقسيم لمجموعات فرعية:  $r_i < d_i$  حيث:

$d_i$  المسافة بين العقدة  $n_i$  و العقدة  $n_{i+1}$ ، و حيث:  $(i=1, \dots, m-1)$

$r_i$  المسافة بين العقدة  $i$  ورأس العنقود.

$m$  عدد العقد في المجموعة الفرعية الواحدة.

لأن المسافة بين عقدتين متجاورتين ضمن المجموعة الفرعية نفسها أصغر من المسافة بين عقدة من المجموعة الفرعية ورأس العنقود.

**في الطريقة التقليدية:** ترسل جميع العقد للرأس بوقت واحد، أي إن الرأس يحصل على بيانات عنقوده من تجميع الرزم الواردة إليه من كل العقد. ولذلك تكون الطاقة المصروفة لحصول الرأس على البيانات هي مجموع القدرات المصروفة على إرسال كل الرزم من قبل كل العقد.

**في الطريقة المقترحة (الإرسال عبر المندوب):** يحصل الرأس على بيانات عنقوده من تجميع الرزم الواردة إليه من المندوبين. فتكون الطاقة المصروفة لحصول الرأس على البيانات هي مجموع القدرات المصروفة من المندوبين للرأس، مضافاً إليها مجموع القدرات المصروفة لوصول الرزمة للمندوب (أي الطاقة المصروفة على مستوى كل مجموعة فرعية).

الطاقة الكلية المصروفة على مستوى المجموعة الفرعية الواحدة هي مجموع طاقة المندوب التي يصرفها للإرسال للرأس، مضافاً إليها الطاقة المصروفة على انتقال الرزمة بالتتالي عبر العقد المتجاورة حتى تصل للمندوب (مع الأخذ بعين الاعتبار الزيادة الحاصلة في طول الرزمة).

يجب الملاحظة أنّ طاقة المندوب مشتركة بين حالة الإرسال المباشر وحالة الإرسال وفق الطريقة المقترحة وذلك كون المندوب عقدة من مكونات الشبكة ومنه يكون:  $r_a = d_a$ .

### 5- الدراسة العملية للطريقة المقترحة

أعدت الشبكة المقترحة لاختبار الخوارزمية وتأثيرها على استهلاك الطاقة وعلى نسبة تسليم الرزم لتضم 100 حساس موزعة على مساحة  $100 \times 100$  م<sup>2</sup>. بحيث تعطي تصوراً واضحاً عن طيف واسع من التطبيقات. وتم تحديد أن يكون لهذه الشبكة محطة قاعدية واحدة تقع خارج حدود المساحة المفترضة وتمتلك الشبكة منسقاً أساسياً هو رأس العنقود الأقرب إلى المحطة القاعدية. وتفترض الدراسة أن رأس العنقود هذا قابل لاستبدال مصدر طاقته عند الضرورة أي إنه لا يدخل احتساب الطاقة المصروف فيه ضمن اعتبارات صرف الطاقة للشبكة ككل.

ستعمل الشبكة على المستوى الفيزيائي وعلى مستوى الطبقة الثانية وفقاً لبروتوكول ZigBee باتّباع نظام المنارة [27]. وقد تم اختيار قيم لبطارية حقيقية كالتي تستخدم مع الحساسات التي تستخدم في كثير من المرسلات التي تعتمد تقنية ZigBee المستخدمة ولذلك قمنا باختيار البطارية التي يعمل عليها هذا المرسل وهي بطارية CR2477 حيث تعطي جهداً 3V وسعة 900mAH.

يسمح المحاكى NS2 ببناء الشبكة وفق النموذج المقترح ومحاكاة عملها [28]. وقد اختيرت القيم التي يعمل عندها المرسل وفق بروتوكول 802.15.4 لتكون كالآتي:

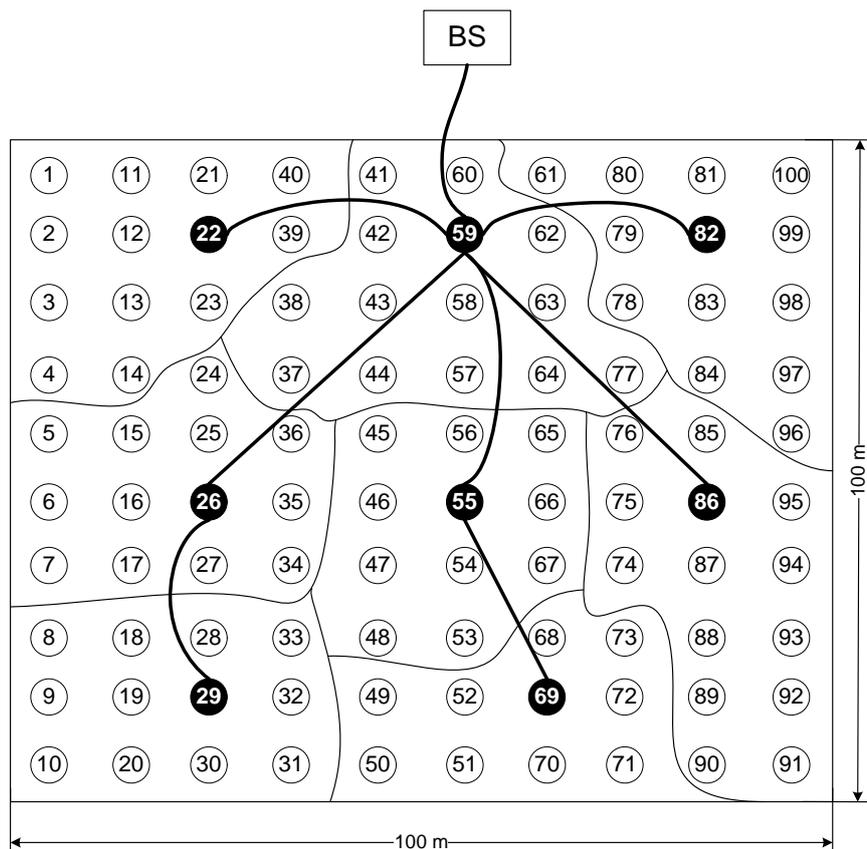
أعطى لترتيب المنارة (Beacon Order) BO القيم من 6 إلى 10 من أجل جميع حالات المحاكاة. وهذا يعطي بدوره فاصل زمني بين منارة وأخرى BI قيمته بين 0.95 و 15.73 ثانية وهذا مناسب من أجل السرعات التي فرضناها وهي إرسال رزمة واحدة لكل عقدة في أزمان أقصرها 15 ثانية وأطولها 200 ثانية.

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

تمت تهيئة المحاكى ليعمل وفق بارامترات الجدول (1).

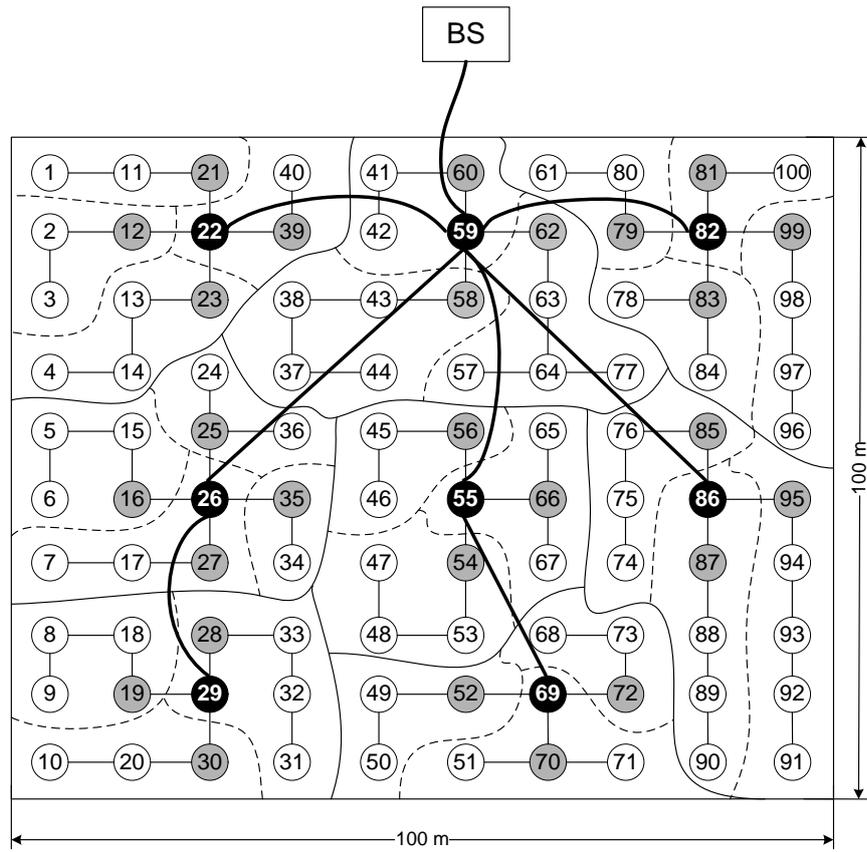
الجدول (1): بارامترات عمل المحاكى

البارامتر	القيمة
BO	6-10
SO	2
الزمن بين بداية إرسال كل رزمتين	15,30,60,100 and 200seconds
حجم الرزمة	64 bytes
زمن المحاكاة	1000 seconds
عدد العقد	100 بدون المحطة القاعدية
التيار المستهلك في الإرسال	26.9 mA
التيار المستهلك في الاستقبال	26.7 mA
عدد مرات تكرار المحاكاة	10
المسافة بين العقد	10 m
الطاقة الابتدائية (مساوية لقيمة شحنة بطارية CR2477)	900mAH=9720 joules
اتجاه نقل المعطيات	من العقد الطرفية إلى المنسق



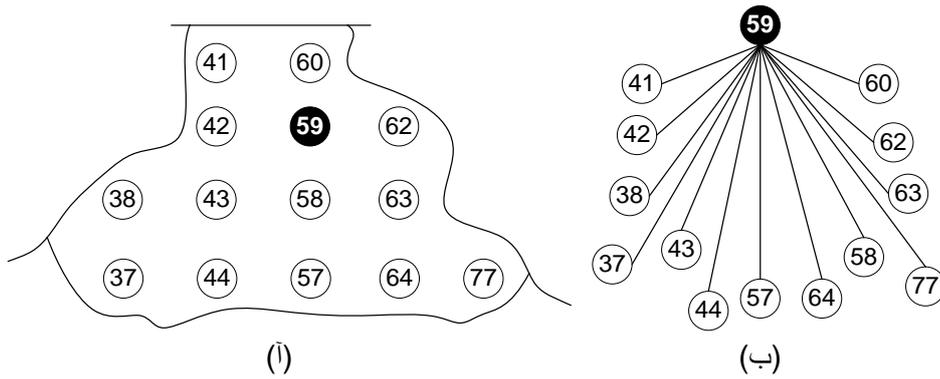
الشكل (5): الشبكة المقترحة وفقاً للعقدة الشجرية التقليدية

طبق سيناريو المحاكاة على النموذجين العنقوديين الأساسيين في الشكل (5) والمقترح في الشكل (6) وذلك بتكرار المحاكاة لعشر مرات لكل حالة وأخذ القيم المتوسطة لمجموع القيم الناجمة عن محاكاة هذه الحالات. تتوزع الحسابات وفقاً للسيناريو المقترح كما يظهر الشكل (6) حيث تم تقسيم الشبكة إلى عناقيد تشكل شجرة من العناقيد لكل منها رأس عنقود. كما يتم تقسيم العنقود إلى مجموعات فرعية تشكل كل منها شجرة صغيرة من العنقود. يرتبط رأس الشجرة الذي يسمى مندوباً مع رأس العنقود بدلاً من ارتباط كل عقدة بالرأس.

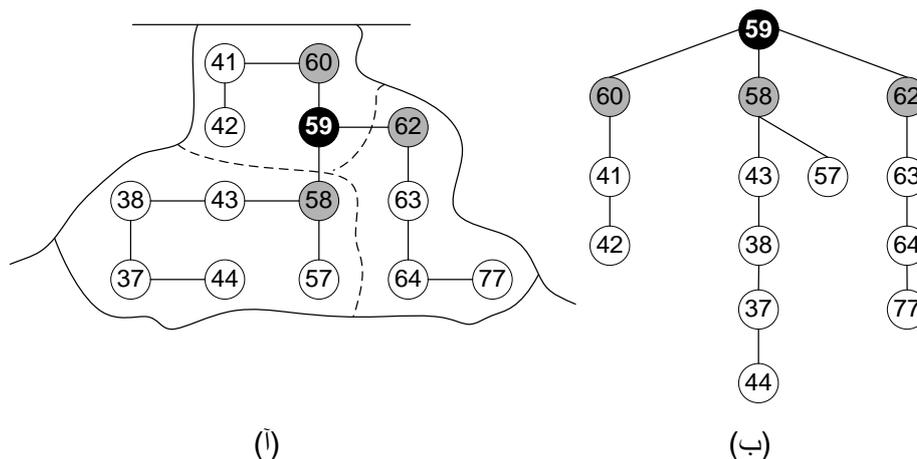


الشكل (6): الشبكة المقترحة وفقاً للخوارزمية المقترحة

يبين الشكل (7) توضيحاً لانتقال البيانات في الطريقة التقليدية



الشكل (7): تمثيل ارتباط العقد برأس العقدة التقليدية



الشكل (8): تمثيل ارتباط العقد برأس بالمندوبين واتصال المندوبين برأس العقود في الخوارزمية المقترحة (الإرسال عبر المندوب).

### النتائج والمناقشة:

تم تصدير نتائج المحاكاة ورسم المنحنيات البيانية التي تبين متوسط استهلاك الطاقة في العقد خلال زمن المحاكاة وذلك من أجل الطريقة التقليدية وكذلك من أجل الطريقة المقترحة وذلك عند قيم مختلفة لترتيب المنارة وعند قيمة ثابتة مساوية لـ 2 بالنسبة إلى ترتيب الإطار الكلي. وهذه القيم مناسبة لعمل معظم تطبيقات شبكات الحساسات اللاسلكية المعتمدة على تقنية ZigBee. وقد تم وضع هذه القيم على المنحنيات الممثلة للنتائج.

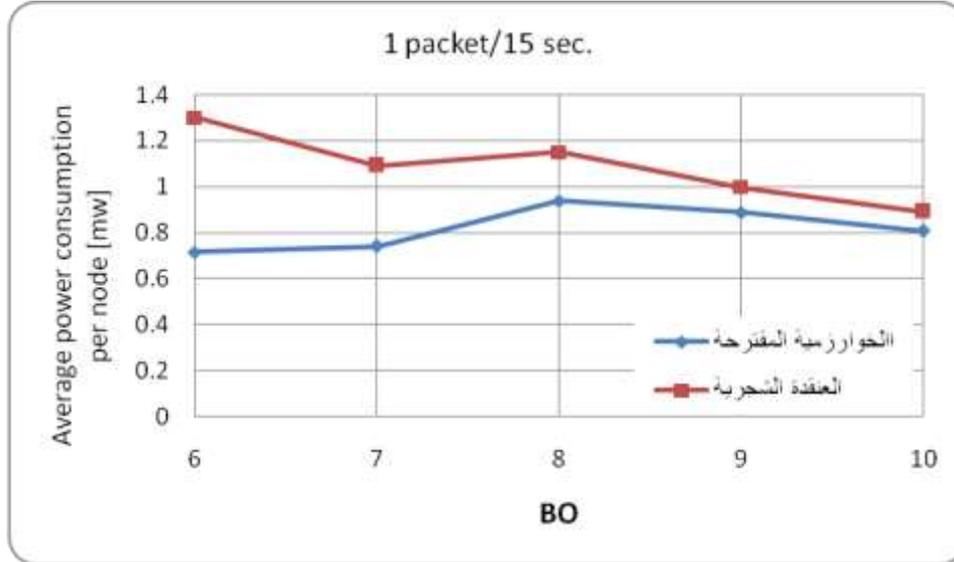
كما تم تمثيل نسبة تسليم الرزم التي تنتجها العقد وفقاً للمعدلات المختلفة المذكورة سابقاً والمبينة على المنحنيات. وقد أخذ العدد الكلي لهذه الرزم المسلمة وحساب نسبتها إلى الرزم المرسل من العقد من أجل كل حالة. وأخذ المتوسط الكلي لعدد مرات المحاكاة.

وقد بينت النتائج ما يأتي:

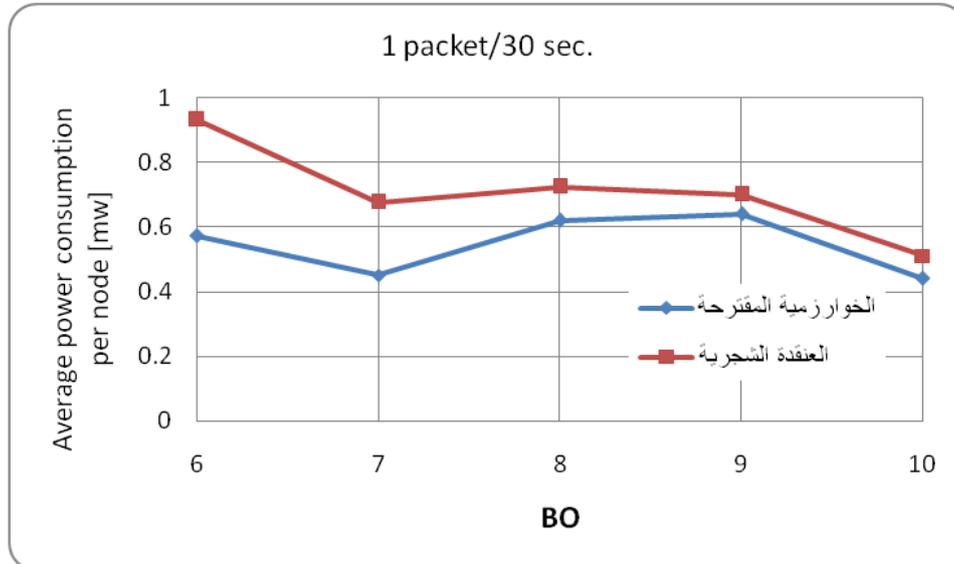
- ❖ هناك توفير في الطاقة، ينتج عن استخدام الخوارزمية المقترحة، يتراوح بين 15 و 50% حسب رتبة المنارة وحسب معدل إرسال الرزم في زمن المحاكاة.
- ❖ وهذا يؤدي بدوره إلى توفير في مقدار الطاقة المستهلكة على مستوى العقود.
- ❖ على مستوى الشبكة ككل ينتج عنه إطالة محسوسة في عمر. وبذلك فإن تطبيق الخوارزمية المقترحة سيضمن عمل كل عقدة لفترات أطول، لأنها ستستقبل وترسل من الجارات الأقرب إليها. بدلاً من الإرسال للرأس الذي يبعد حتماً مسافة أكبر من العقدة المجاورة.
- ❖ كما سيعمل رأس كل عقود لفترات أطول، لأنه استقبل رزماً من المندوبين فقط (وليس من كل العقد).
- ❖ ويعزى ذلك إلى انخفاض مستوى الازدحام وعدد مرات التصادم الذي قد يحصل على مستوى العناقيد المكونة للشبكة.

إنّ التوفير في الطاقة الذي تم الحصول عليه والنتائج الإيجابية أدّى إلى ظهور سلبية، وهي التأخير في وصول الرزم بسبب تعدد المسارات التي تسلكها عبر سلسلة من تتالي العقد المجاورة حتى الوصول للرأس. وبسبب الزيادة في طول الرزمة التي تمر على عدة عقد متجاورة متتالية، وكل منها تضيف بياناتها للعقدة الآتية. كما هو موضح على المنحنيات التي تبين نسب التسليم من أجل القيم المختلفة لبارامترات المحاكاة. إن تعدد المسار والأخطاء والاختناقات الناجمة عنه أدت إلى انخفاض نسبة التسليم قليلاً. ولكن هذا الانخفاض لا يشكل قيمة ذات أهمية عند

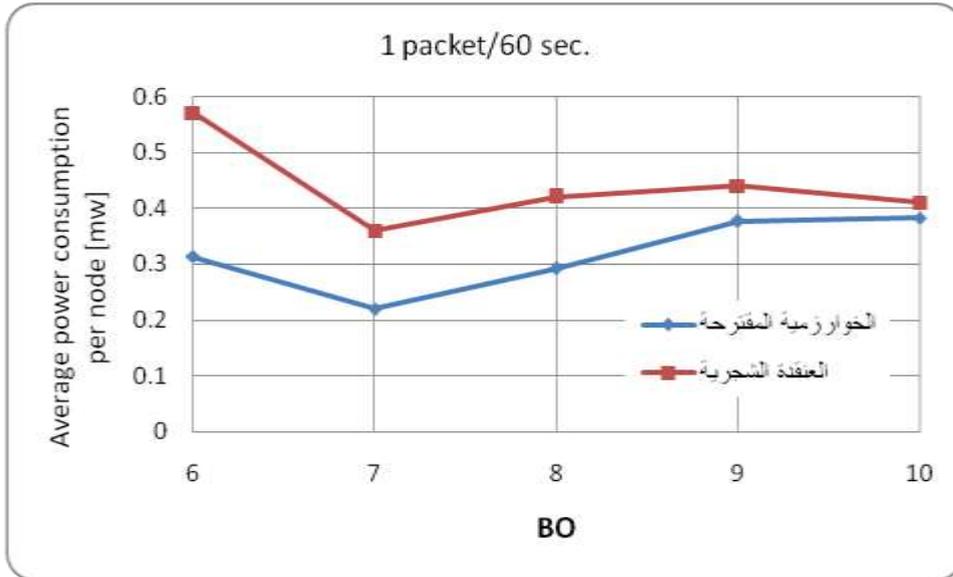
معدلات إرسال الرزم المنخفضة. أي في التطبيقات التي لا تتطلب إرسالاً سريعاً للمعطيات وفي الشبكات ذات معدلات الإرسال المنخفضة، مثل تطبيقات مراقبة الزراعة وأتمتتها في البيوت الزجاجية على سبيل المثال. ولهذا فإن تطبيق هذه الخوارزمية في مثل هذه التطبيقات يؤمن وفراً كبيراً في الطاقة دون أن يؤثر ذلك على جودة التطبيق و موثوقية النتائج التي يتم الحصول عليها.



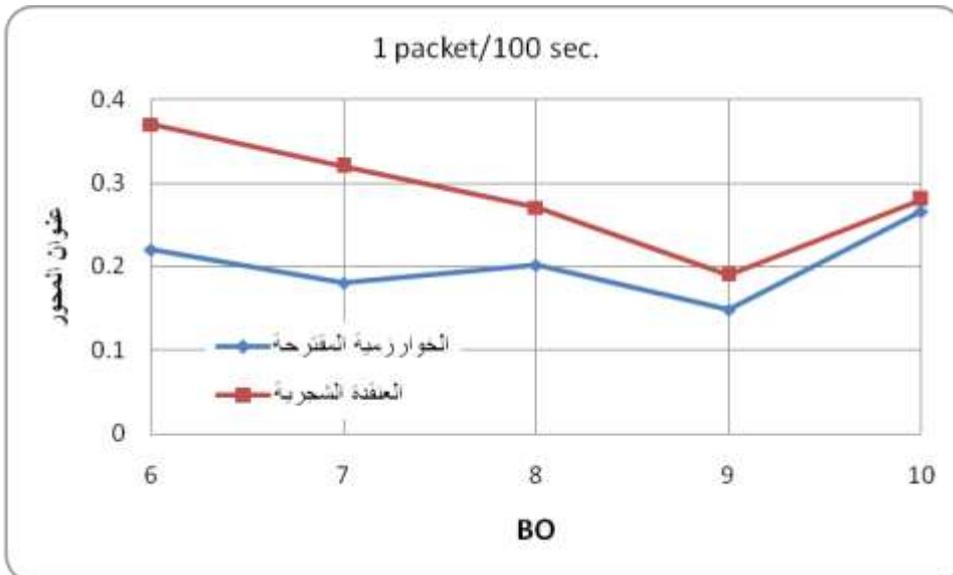
الشكل(9)يبين مقدار القدرة المستهلكة في الطريقة التقليدية وطريقة الإرسال عبر المندوب عند فاصل زمني 15 ثانية بين الرزم



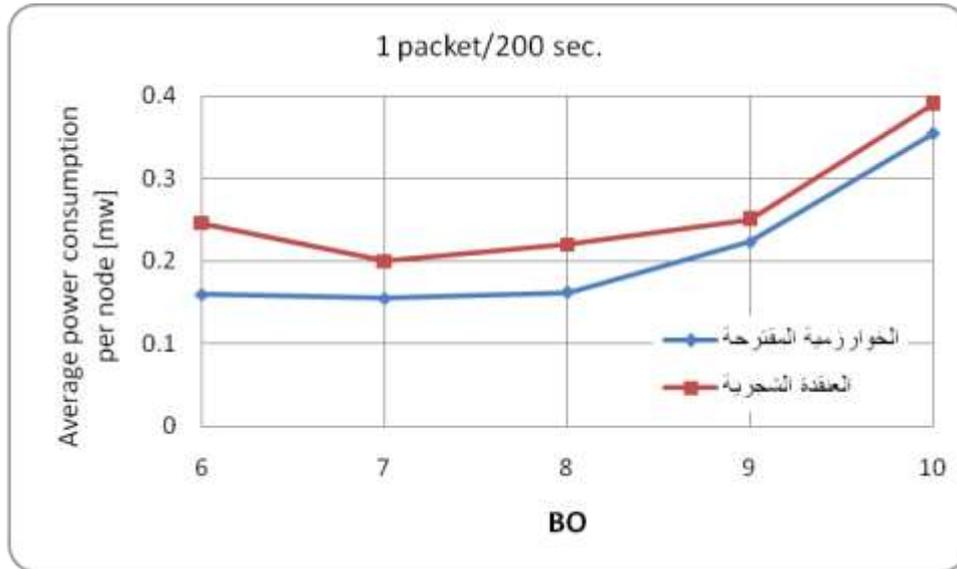
الشكل(10)يبين مقدار القدرة المستهلكة في الطريقة التقليدية وطريقة الإرسال عبر المندوب عند فاصل زمني 30 ثانية بين الرزم



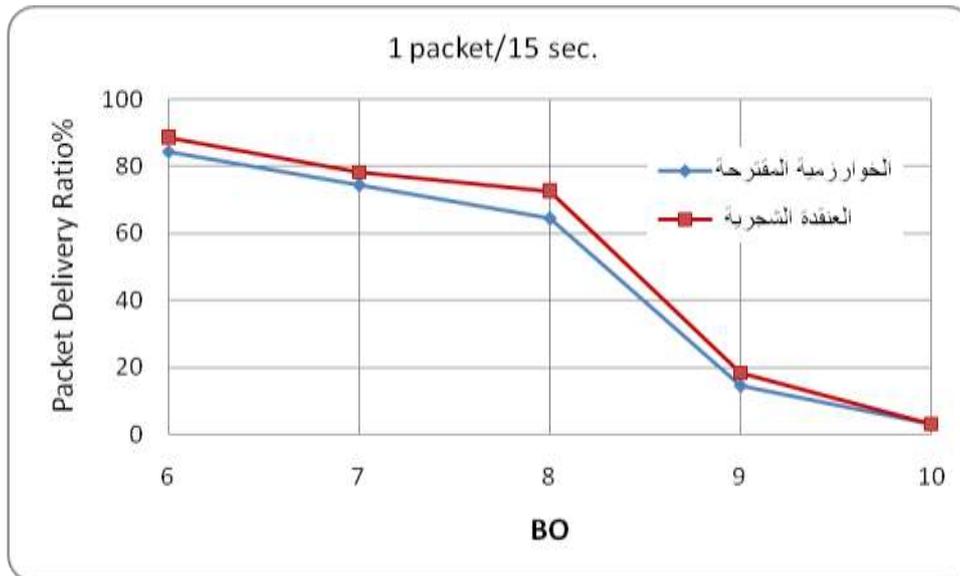
الشكل(11)يبين مقدار القدرة المستهلكة في الطريقة التقليدية وطريقة الإرسال عبر المندوب عند فاصل زمني 60 ثانية بين الرزم



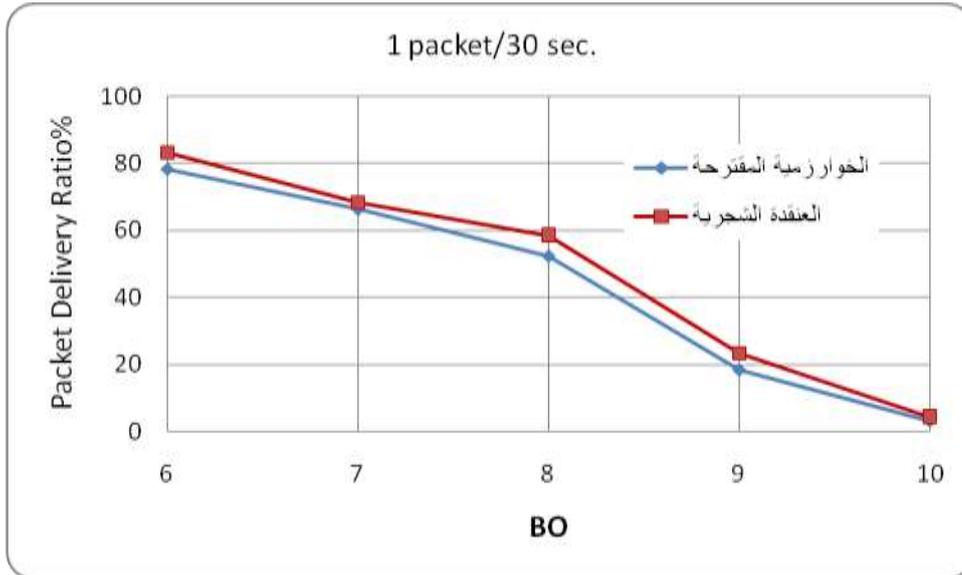
الشكل(12)يبين مقدار القدرة المستهلكة في الطريقة التقليدية وطريقة الإرسال عبر المندوب عند فاصل زمني 100 ثانية بين الرزم



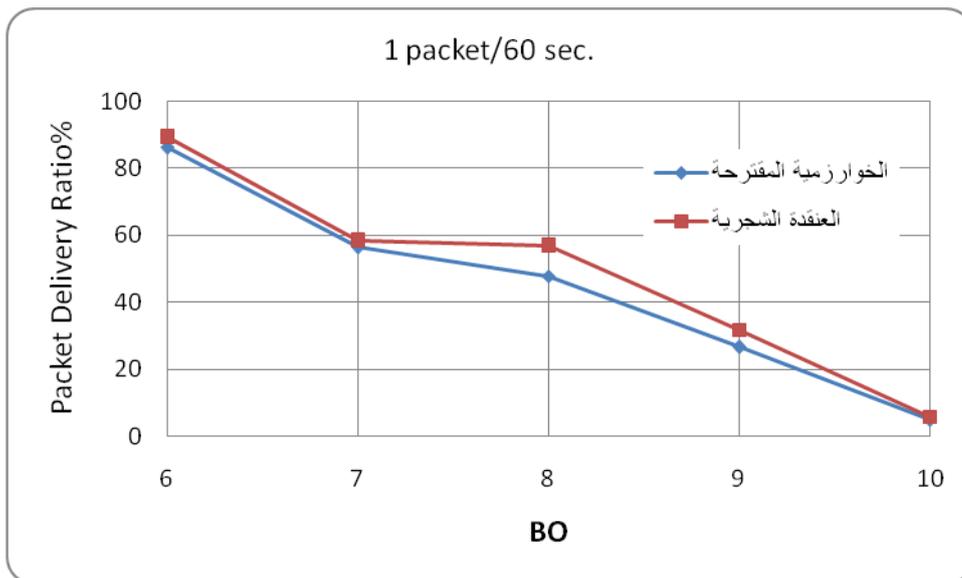
الشكل (13) يبين مقدار القدرة المستهلكة في الطريقة التقليدية وطريقة الإرسال عبر المندوب عند فاصل زمني 200 ثانية بين الرزم



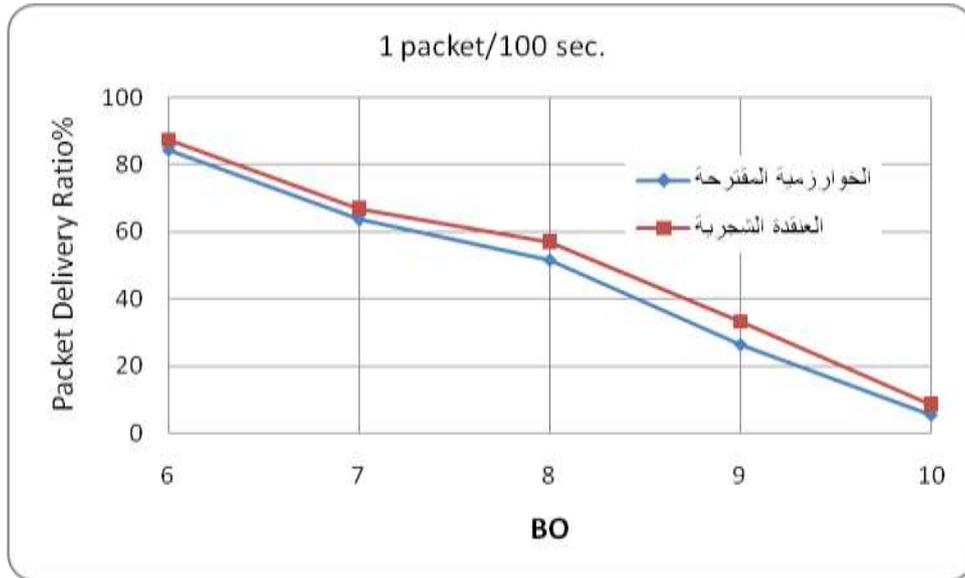
الشكل (14) يبين مقدار نسبة تسليم الرزم في الطريقة التقليدية وطريقة الإرسال عبر المندوب عند فاصل زمني 15 ثانية بين الرزم



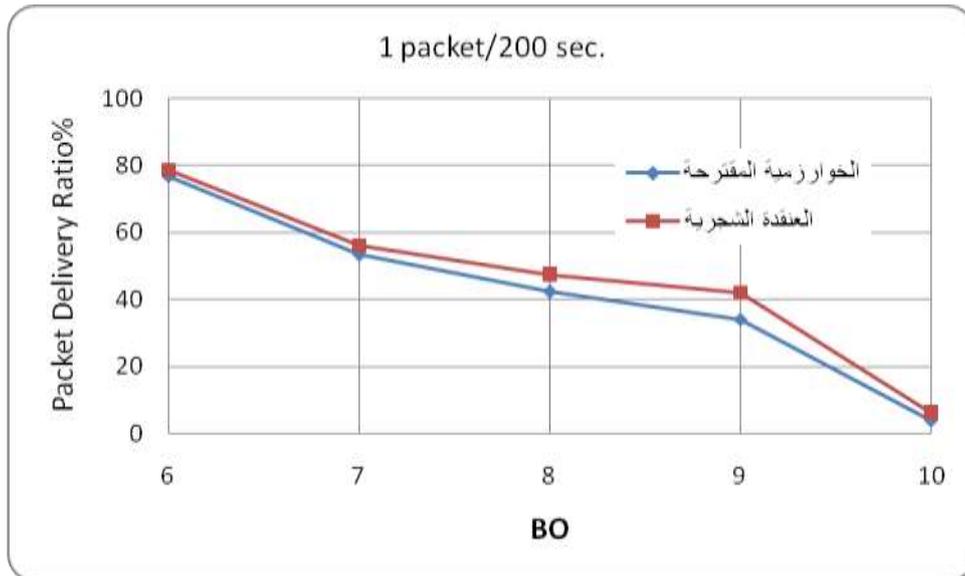
الشكل (15) يبين مقدار نسبة تسليم الرزم في الطريقة التقليدية وطريقة الإرسال عبر المندوب عند فاصل زمني 30 ثانية بين الرزم



الشكل (16) يبين مقدار نسبة تسليم الرزم في الطريقة التقليدية وطريقة الإرسال عبر المندوب عند فاصل زمني 60 ثانية بين الرزم



الشكل (17) يبين مقدار نسبة تسليم الرزم في الطريقة التقليدية وطريقة الإرسال عبر المندوب عند فاصل زمني 100 ثانية بين الرزم



الشكل (18) يبين مقدار نسبة تسليم الرزم في الطريقة التقليدية وطريقة الإرسال عبر المندوب عند فاصل زمني 200 ثانية بين الرزم

### الاستنتاجات و التوصيات:

توفر الطريقة المقترحة وفرأ في استهلاك الطاقة عند تقسيم العناقيد إلى مجموعات فرعية هذا ما يؤمن ساعات عمل إضافية وإطالة في زمن حياة الشبكة Life time. تظهر سلبية الطريقة المقترحة في انخفاض قليل على نسبة تسليم الرزم من العقد إلى المحطة القاعدية. إلا أن هذا التأخير لا يُعتبر ذا أهمية في التطبيقات التي لا تتطلب معدلات إرسال عالية أو في التطبيقات التي لا تتطلب نقلاً للبيانات في الزمن الحقيقي.

كما أن استخدام الشبكات العنقودية ذات التقسيم الفرعي في الحالات التي يعتبر تجميع البيانات فيها هو الأكثر أهمية أي يمكن أن تحتتمل هذه الشبكة التأخير الذي تسببه الطريقة المقترحة، أفضل من استخدام الشبكات ذات التقسيم العنقودي التقليدي.

### المراجع:

- [1]. DOSS, R;L. G;MAK, V. ;YU, SH. Improving QoS for information discovery in autonomic wireless sensor network. Pervasive and mobile computing, 2008, 334-349.
- [2]. KROHN ,A;BEIGL, M;DECKER, CH. Increasing connectivity in wireless sensor network using cooperative transmission. University at Karlsruhe Germany, 2007.
- [3]. LIU, A;XIAN ,W;ZHI-GANG, C. Research on the energy hole problem based on an unequal cluster radius for wireless sensor networks. College of Information Science and Engineering, Central South University, ChangSha, China, 2009.
- [4]. HAC, A. Wireless Sensor Network designs. Honolulu, USA, 2003,165-203.
- [5]. LI,C;CHENG,G;YE,M. An uneven cluster based routing protocol for wireless sensor networks. Journal of Electronic & information technology,2007.
- [6]. CHIASSERINI, C;GARETTO, M. Modeling the performance of wireless sensor networks. IEEE INFOCOM, Torino, Italy, 2004.
- [7]. YE,W;HEIDEMANN,D. An energy efficient MAC protocol for wireless sensor networks. IEEE. 2002,1567,1576.
- [8]. LU,G;KRISHNAMACHARI,B. An adaptive energy efficient and low latency MAC for data gathering in sensor networks. IEEE. 2004.
- [9]. BOUKERCHE,A. Algorithm and protocols for wireless sensor network. University of Ottawa,Canada. 2009.
- [10]. ALKARAKI,J;KAMAL,A. Routing techniques in wireless sensor networks. IEEE,2004.
- [11]. NICULESCU,D. Communication paradigms for sensor networks. IEEE,2005,116,122.
- [13]. HEIZELMAN, W;CHANDRAKASAN, A;BALKARISHNAN, H. Energy efficient communication protocol for wireless micro sensor network. In: Proceedings of the Hawaii international conference on system sciences,vol1,2000,3005-14.
- [14]. HEIZELMAN, W;CHANDRAKASAN, A;BALKARISHNAN, H. An application specific protocol architecture for wireless micro sensor networks. IEEE transaction on wireless communication ,vol1. no4, 2002, 660-670.
- [15]. SORO,S;HEIZELMAN, W. Prolonging the lifetime of wireless sensor networks via unequal clustering. IEEE,vol13,Colorado,USA,2005,236-243.
- [16]. XUE,Q;GANZ,A. Maxmizing sensor network lifetime analysis and design. In: Proceedings of the 2004 military communications conference, vol 2, Monterey, CA, 2004,1140-1150.
- [17]. POLASTRE,J;HILL,J;CULLER,D. Versatile low power media access for wireless sensor network. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> international conference on embedded network sensor system,NewYork,USA,2004,95-107.
- [18]. ZHOU,G;JOHN,A. Crowded spectrum in wireless sensor network. Virginia, USA,2007.
- [19]. CHEN,J;HE,SH;SUN,Y;THULASIRMAN,P. Optimal flow control for utility-lifetime tradeoff in wireless. Computer Networks. 2009.

- [20]. ZHU,J;HUNG,KA;BENSAOU,B;ABDESSELAM,F. Rate-lifetime tradeoff for reliable communication in wireless sensor network. *Computer Networks*,vol 52 ,2008,25–43.
- [21].TAVLLB;KAYAALP,M;CEYLAN,O. Data processing and communication strategies for lifetime optimization in wireless sensor network. *International Journal of Electronics and Communications*,2009.
- [22]. Nazim Abdeddaim, Fabrice Theoleyre, Franck Rousseau, Andrzej Duda . Multi-Channel Cluster Tree for 802.15.4 Wireless Sensor Networks; PIMRC 2012 - 23rd IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (2012) 590 - 595
- [23]. Malisa Vucinic, and others; Topology Construction in RPL Networks over Beacon-Enabled 802.15.4; Proceedings of IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), Madeira, Portugal, 2014
- [24]. B. Pavkovi´c, A. Duda, W.-J. Hwang, and F. Theoleyre, “Efficient Topology Construction for RPL over IEEE 802.15.4 in Wireless Sensor Networks,” *Ad Hoc Networks*, Elsevier, 2013.
- [25]. CHEN,P; CALLAWAY, E. Energy efficient system design with optimum transmission range for wireless ad-hoc networks. *IEEE international conference on communications*, vol 2, New York, USA, 2002,945–52.
- [26]. LIU,J;LIN,CH. Power efficiency clustering method with power limit constraint for wireless sensor network. *IEEE*, vol 9,Arizona,USA,2003,129-136.
- [27]. 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.
- [28]. Introduction to Network Simulator NS2; Teerawat Issariyakul ,Ekram Hossain; 2009 Springer.