

تخفيض الطاقة المستهلكة في العنقدة الديناميكية لشبكات الحساسات اللاسلكية

الدكتور أحمد صقر أحمد*

اناس ليلي**

(تاريخ الإيداع 14 / 1 / 2015. قُبِلَ للنشر في 13 / 7 / 2015)

□ ملخص □

تعد بروتوكولات التوجيه الهرمية المعتمدة على العنقدة الديناميكية إحدى الطرق المستخدمة لحفظ الطاقة وإطالة زمن حياة شبكات الحساسات اللاسلكية، إلا أن أغلب الأبحاث تقوم بإهمال الطاقة المستهلكة خلال عمليتي انتخاب الرؤوس وتشكيل العناقيد في الشبكة. قمنا في هذا البحث بدراسة طاقة الحمل الزائد الذي تتسبب به بروتوكولات التوجيه الهرمية المعتمدة على العنقدة الديناميكية كالبروتوكول LEACH، ودراسة أثره على فترة الاستقرار في شبكات الحساسات اللاسلكية. كما تم اقتراح حل للحد من استهلاك هذه الطاقة وذلك من خلال تقليل الطاقة المستهلكة في عمليتي العنقدة وانتخاب الرؤوس. تبين لنا من خلال نتائج المحاكاة أن الطاقة المستهلكة في مرحلة الإعداد للبروتوكول LEACH تُنقص من فترة الاستقرار وتزيد من عدد العقد الميتة في شبكات الحساسات اللاسلكية، وأن استخدام الحل المقترح قد عمل على الحد من استهلاك الطاقة أثناء عملية انتخاب الرؤوس وتشكيل العناقيد بشكل واضح مقارنةً بالطريقة العادية المتبعة في البروتوكول LEACH، مما زاد من فترة الاستقرار وعدد العقد الحية في الشبكة.

الكلمات المفتاحية: شبكات الحساسات اللاسلكية، بروتوكولات التوجيه الهرمية، طاقة الحمل الزائد، العنقدة الديناميكية، فترة الاستقرار، البروتوكول LEACH.

* أستاذ-قسم النظم والشبكات الحاسوبية-كلية الهندسة المعلوماتية-جامعة تشرين-اللاذقية - سورية
** طالبة دراسات عليا (دكتوراه)-قسم النظم والشبكات الحاسوبية-كلية الهندسة المعلوماتية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية

Reducing the Consumed Energy in the Dynamic Clustering for Wireless Sensor Networks

Dr. Ahmad Saker Ahmad*
Inas Laila**

(Received 14 / 1 / 2015. Accepted 13 / 7 / 2015)

□ ABSTRACT □

The dynamic clustering-based hierarchical routing protocols are one of the methods used to save energy and increase the lifetime of wireless sensor networks, however, that most of the researches are neglecting the energy expended in election of the heads and formation of clusters in the network.

In this paper, we examine the overhead energy caused by hierarchical routing protocols based on dynamic clustering and study its impact on the stability period of the wireless sensor networks. Also, we proposed a solution to limit this energy by reducing the consumed energy in election of heads and clusters formation operations. It is shown through the simulation results that the energy consumed in LEACH setup phase decreases the stability period of these networks and increases the number of dead nodes. And the use of the proposed solution reduced the energy consumption during the election of the heads and the formation of clusters clearly compared to the normal way followed in LEACH, which has increased stability period and the number of live nodes in the network.

Key words: Wireless Sensor Network (WSN), Hierarchical Routing Protocols, Overhead Energy, Dynamic Clustering ,Stability Period, LEACH.

*Professor, Department of Computer Networks and Systems, Faculty of Informatics Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**Postgraduate Student, Department of Computer Networks and Systems , Faculty Of Informatics Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

أدى التطور الكبير في مجال الاتصالات اللاسلكية وتقنيات الدارات المتكاملة إلى تطوير بنية تحتية مؤلفة من المئات أو حتى الآلاف من وحدات صغيرة قادرة على الاستشعار والحساب وكذلك الاتصال فيما بينها تدعى بعقد الاستشعار، وبشكل الترابط بين هذه العقد شبكة تدعى بشبكة الحساسات اللاسلكية (Wireless Sensor Network) والتي يشار إليها بـ (WSN)، تتمتع هذه الشبكة بانخفاض تكلفتها وسهولة نشرها وقدرتها على الاتصال بدون بنية تحتية وبشكل آني مما يجعلها خياراً جذاباً للعديد من التطبيقات، من أهمها تطبيقات مراقبة البيئة وتطبيقات الأمن والتعقب في الزمن الحقيقي وغيرها.

ولكن في الواقع تتغذى عقد هذه الشبكات من البطاريات، كما أنها تملك قيوداً على القدرة الحسابية والذاكرة وعرض الحزمة المتاح مما جعلها توصف بأنها شبكات ذات موارد محدودة، وهذا ما فرض مجموعة من التحديات على تصميم هذه الشبكات، وتعد مشكلة الطاقة المحدودة من أكثر المشاكل التي يتوجب الاهتمام بها للحصول على شبكات استشعار ذات عمر مديد، حيث أن تصميم بروتوكولات وتطبيقات تأخذ موضوع القيود المفروضة على الطاقة بعين الاعتبار يعتبر أمراً ضرورياً وذلك لأن عملية تبديل بطاريات هذه العقد هو موضوع شاق أو غير ممكن في بعض الحالات [1][2].

تقسم بروتوكولات التوجيه اعتماداً على بنية الشبكة إلى صنفين رئيسيين هما التوجيه المسطح (flat routing) والتوجيه الهرمي (hierarchical routing). في التوجيه المسطح تنجز كل العقد نفس المهام وتتساعد فيما بينها لنقل البيانات إلى المحطة القاعدية عن طريق القفزات المتعددة، ومن الأمثلة على هذا الصنف البروتوكولات بروتوكول الحساسات للحصول على المعلومات عبر التفاوض (SPIN) [3] وبروتوكول الانتشار الموجه (DD) [4] وغيرهما، ويكون أداء هذا الصنف فعالاً في الشبكات الصغيرة إلا أنه يصبح غير مرغوباً به نسبياً في الشبكات الكبيرة وذلك بسبب الطبيعة المحدودة للموارد في شبكات WSN. أما في التوجيه الهرمي فإن العقد تنجز مهاماً مختلفة، حيث تنظم العقد في مجموعة من العناقيد اعتماداً على مجموعة من المقاييس، ويكون لكل عنقود قائد يدعى برأس العنقود cluster head ((CH)). تدعى العقد التي تنتمي إلى نفس العنقود بالعقد الأعضاء (member nodes (MNs)) أو العقد العادية ((ordinary nodes (ONs))، حيث تقوم هذه العقد بجمع البيانات من حقل المراقبة وإرسالها إلى الرأس الذي يتولى بدوره مهمة تجميع هذه البيانات ومعالجتها وإرسالها إلى المحطة، ومن الأمثلة على هذا الصنف البروتوكولات LEACH [5] وHEED [6] وغيرها [9]. تشترك هذه البروتوكولات في الهدف الذي صممت من أجله وهو حفظ الطاقة وإطالة زمن حياة الشبكة قدر الإمكان، إلا أنها تختلف فيما بينها بآلية العمل التي تتبعها وبخوارزمية العنقدة التي تستخدمها.

أهمية البحث وأهدافه:

تعتبر بروتوكولات التوجيه الهرمية المعتمدة على العنقدة الديناميكية واحدة من الحلول الرئيسية المستخدمة لتحسين فترة عمل شبكة WSN وإطالة فترة الاستقرار فيها، يهدف هذا البحث إلى دراسة طاقة الحمل الزائد الناتجة عن العنقدة الديناميكية في بروتوكولات التوجيه الهرمية المعتمدة على العنقدة كالبروتوكول LEACH، ودراسة تأثير هذا الحمل على أداء شبكات الحساسات اللاسلكية، ومن ثم اقتراح حل لتخفيض هذا الحمل بهدف تحسين أداء الشبكة.

الدراسة المرجعية:

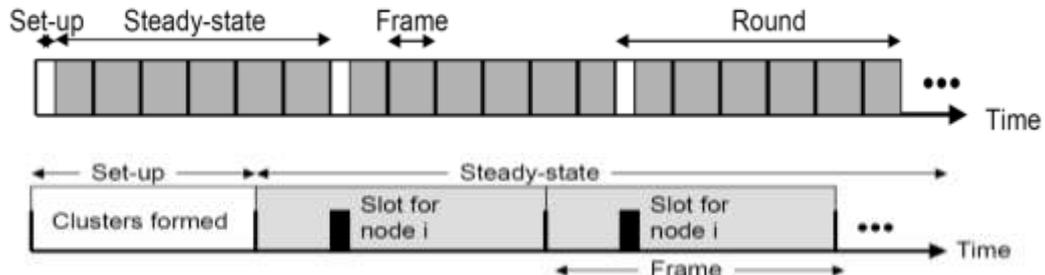
تعد مشكلة الطاقة المحدودة من المشاكل الكبيرة التي تعاني منها شبكات WSN، وهذا ما دفع الباحثين إلى العمل على إيجاد آليات لتخفيض الطاقة المستهلكة في هذه الشبكات وإطالة زمن حياتها [2][1]. قام الباحثون باقتراح العديد من بروتوكولات التوجيه الهرمية المعتمدة على العنقدة والتي تستخدم الطاقة المتاحة في شبكات WSN بشكل فعال، ويعد البروتوكول LEACH [5] من أوائل هذه البروتوكولات، يعمل هذا البروتوكول على تنظيم عقد الشبكة في عنقيد، يكون لكل عنقود رأس يتولى مهمة استقبال البيانات من الأعضاء وتجميعها وإرسالها إلى المحطة، مما يخفف عدد الرزم المكررة المرسلة إلى المحطة ويحفظ الطاقة في الشبكة. قام بعدها بعض الباحثين بالتركيز على كيفية بناء العناقيد وتحديد المعايير المتبعة عند اختيار رؤوس العناقيد حيث قاموا بتطوير البروتوكول HEED [6] الذي يعتمد طاقة العنقدة كمعيار عند اختيار الرؤوس، بينما قام آخرون بأخذ أهمية البيانات التي تقوم الحساسات بجمعها بالحسبان، فقاموا بتطوير البروتوكول TEEN [9] الذي يعمل على وضع شروط لنقل البيانات من الأعضاء إلى الرؤوس، مما يسمح للعقد التي تملك بيانات ذات أهمية معينة فقط بنقل بياناتها إلى الرؤوس، وهذا ما يخفف عمليات الإرسال في الشبكة ويحافظ على طاقة العقد.

إلا أن معظم الأبحاث لا تقوم بدراسة تكاليف عمليتي انتخاب الرؤوس وتشكيل العناقيد في الشبكة وتأثير هذه التكاليف على فترة عمل الشبكة وتعتبرها صغيرة بحيث يمكن إهمالها. قام الباحثون في المرجع [7] بحساب الطاقة المستهلكة في مرحلة الإعداد في البروتوكول LEACH ووجدوا أن الحمل الزائد في الطاقة الناتج عن عملية العنقدة هو على الأقل 20% من طاقة الشبكة الكلية المستهلكة لنقل البيانات، إلا أنهم لم يقدموا أي اقتراح لخفض هذه الطاقة. يهتم هذا البحث بدراسة الحمل الزائد في الطاقة الناتج عن عملية العنقدة ومحاولة إيجاد حل للحد منها.

البروتوكول Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH)

يعد البروتوكول LEACH أول بروتوكول هرمي معتمد على العنقدة صُمم من قبل Heinzelman وآخرين بهدف إطالة زمن حياة شبكات WSN [5]، ويعمل هذا البروتوكول على ضمان التوزيع الجيد للطاقة المصروفة بين العقد وذلك عن طريق تجميعها في عنقيد باستخدام خوارزمية موزعة، حيث تقوم رؤوس العناقيد باستلام التقارير من العقد الأعضاء وتجميعها قبل إرسالها إلى المحطة، مما يؤدي إلى تخفيض الطاقة المستهلكة اللازمة لنقل البيانات إلى المحطة. كما يعمل هذا البروتوكول على موازنة الطاقة المستهلكة بين العقد مع مرور الزمن وذلك عن طريق تدوير وظيفة رأس العنقود بينها مما يؤدي إلى إطالة فترة عمل الشبكة قبل نفاذ طاقة أول عقدة فيها وهذا ما يطلق عليه فترة الاستقرار (Stability Period).

يُقسّم هذا البروتوكول زمن حياة الشبكة إلى دورات (Rounds) ويقسم كل دورة إلى مرحلتين مرحلة الإعداد Set-up phase ومرحلة الثبات Steady-state Phase كما يبين الشكل (1).



الشكل (1): مرحلة الإعداد Set-up phase ومرحلة الثبات Steady-state Phase في LEACH [5]

مرحلة الإعداد Set-up phase:

يتم في هذه المرحلة اختيار رؤوس العناقيد حيث تقوم كل عقدة باختيار رقم عشوائي بين الصفر والواحد، فإذا كان هذا الرقم أصغر من العتبة $T(n)$ فإن هذه العقدة تصبح رأس عنقود للدورة الحالية، وتحسب العتبة كما يلي [5]:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P * (r \bmod \frac{1}{P})} & \text{if } n \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

حيث إن:

P : النسبة المئوية لعدد رؤوس العناقيد في الشبكة (مثلاً $P = 5\%$).

r : الدورة الحالية.

G : هي مجموعة العقد التي لم تلعب دور رأس عنقود في الدورات $1/P$ الأخيرة.

بعد أن يتم اختيار رؤوس العناقيد بنجاح فإنها تقوم بإرسال رسائل إعلان إلى العقد الأخرى والتي تقوم بدورها بحساب قوة الإشارة المستقبلية لهذه الرسائل وترسل طلب انضمام إلى الرأس الأقرب مقرة بذلك رأس العنقود الذي سترتبط به في هذه الدورة، يقوم بعدها كل رأس بتحديد حيز زمني وفق TDMA لكل عضو ليقلل من التصادمات داخل العنقود. يظهر الشكل (2) مخطط تدفقي لمرحلة الإعداد في البروتوكول LEACH.

مرحلة الثبات Steady-state Phase:

تقسم الفترة الزمنية لمرحلة الثبات إلى إطارات زمنية حيث تقوم العقد في هذه المرحلة بإرسال بياناتها إلى رأس العنقود الذي قامت باختياره مرة واحدة في كل إطار زمني وذلك ضمن الحيز الزمني المخصص لها، يقوم بعدها كل رأس بتجميع البيانات الواردة إليه من الأعضاء وإرسالها إلى المحطة القاعدية، ويتكرر ذلك من أجل كل إطار زمني حيث يكون الحيز الزمني المخصص للعقدة ثابت، ويختلف عدد الفترات الزمنية في الإطار حسب عدد الأعضاء في العنقود. ولتخفيض الطاقة المستهلكة في العقدة فإنها تقوم بإغلاق وحدتها الراديوية حتى يحين زمن الإرسال المخصص لها، كما أنها تقوم باستخدام متحكم الطاقة لتحديد طاقة النقل المطلوبة والتي تقوم بتقديرها اعتماداً على قوة رسالة الاعلان التي قام رأس العنقود بإرسالها. يظهر الشكل (2) المخطط التدفقي لمرحلة الثبات في البروتوكول LEACH.

نموذج الطاقة:

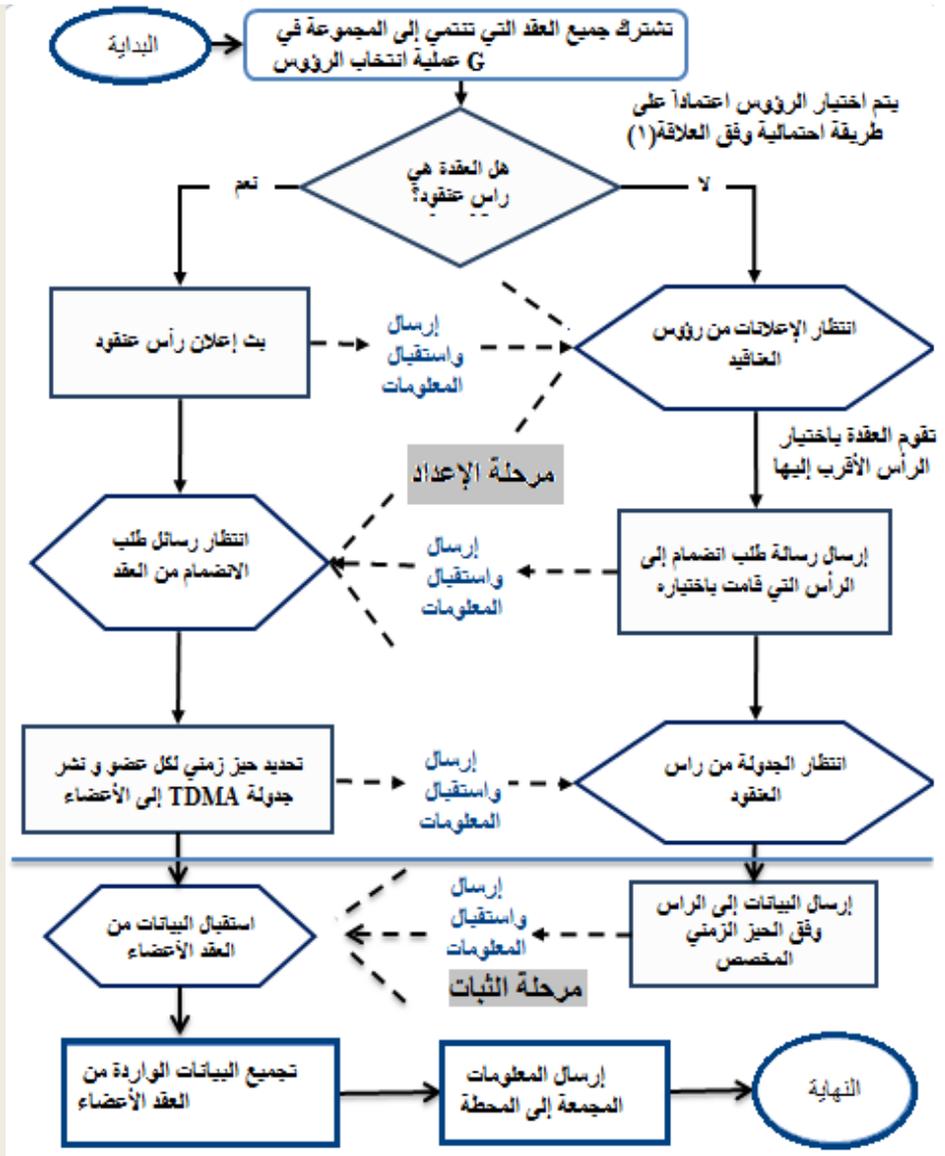
يستخدم الحساس طاقته للقيام بثلاث وظائف رئيسية هي: جمع البيانات من الحقل المراقب، ومعالجة البيانات، والاتصالات. وتعد الاتصالات من أكثر الوظائف استهلاكاً للطاقة وتتضمن كلاً من عمليتي الإرسال والاستقبال، وتتعلق قيمة الطاقة المستهلكة في الاتصالات بالمسافة بين المرسل والمستقبل وكذلك بحجم البيانات المرسل أو المستقبل، ويمكن أن تحسب هذه الطاقة باستخدام نموذج بسيط لاستهلاك الطاقة في العنقود الراديوي.

سنقوم باستخدام الوحدة الراديوية التي تم اقتراحها في [3] والموضحة بالشكل (3) لقياس الطاقة المستهلكة في العقدة، تتألف هذه الوحدة من ثلاثة مكونات رئيسية هي المرسل والمضخم والمستقبل، حيث تستهلك العقدة طاقة لتشغيل دائرة الإرسال ولتضخيم إشارة البيانات قبل إرسالها، وكذلك لتشغيل دائرة الاستقبال لاستقبال البيانات.

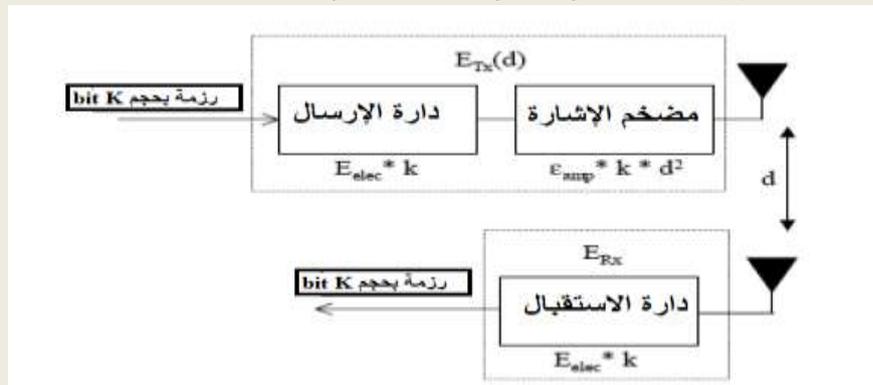
تحسب الطاقة المستهلكة لإرسال رسالة طولها k بت مسافة قدرها d متر بين المرسل والمستقبل بالعلاقة

التالية [3]:

$$E_{tran}(k, d) = E_{elec} \times k + e_{amp} \times k \times d^\alpha \quad (2)$$



الشكل (2): المخطط التدفقي لمرحلتي الإعداد والثبات في البروتوكول LEACH [5]



الشكل (3): النموذج الراديوي [3]

حيث أن:

e_{amp} هي الطاقة المصروفة في المضخم للبت الواحد وتتغير قيمتها حسب نموذج النقل بين المرسل والمستقبل، و E_{elec} هي الطاقة المصروفة لتشغيل دارة المرسل أو المستقبل للبت الواحد. α هو بارامتر تتعلق قيمته بشروط النقل بين المرسل والمستقبل وهو يأخذ القيمة 2 إذا كان هناك خط نظر مباشر بين المرسل والمستقبل (LoS) line of sight)) ويسمى هذا النمط في النقل نموذج الانتشار الحر free space propagation model ، ويأخذ القيمة 4 إذا لم يكن هناك خط نظر مباشر بينهما (NLoS) حيث يمكن للموجة أن ترتد عن الأرض وتصل إلى المستقبل من مسارات مختلفة وبأوقات مختلفة ويسمى هذا النمط في النقل نموذج الانتشار المتعدد two-ray ground propagation model [8,7] حيث تتغير قيمة e_{amp} فتأخذ إحدى القيمتين e_{fs} أو e_{tg} حسب النموذج المعتمد في النقل والذي يتم اعتماده عن طريق حساب المسافة بين المرسل والمستقبل ومقارنتها بقيمة التقاطع d_0 والتي تحسب بالعلاقة التالية [3]:

$$\left[d_0 = \sqrt{\frac{e_{fs}}{e_{tg}}} \right] \quad (3)$$

كما وتحسب الطاقة المستهلكة لاستقبال رسالة طولها k بت بالعلاقة

$$E_{rece}(d) = E_{elec} \times k \quad (4)$$

وبالتالي فان الطاقة المصروفة في الشبكة أثناء عملية النقل المباشر بين العقد والمحطة تحسب بالعلاقة:

$$E_{dt} = \sum_{i=1}^N E_{elec_i} k_i + e_{amp_i} k_i d_i^\alpha \quad (5)$$

كما ويمكن حساب الطاقة المصروفة في الشبكة في حال تم النقل عبر جميع N عقدة في M عنقود كما يلي [8]:

$$E_{ct} = M E_{cluster} = M \left(E_{CH} + \frac{N}{M} E_{non-CH} \right) \quad (6)$$

حيث تحسب E_{CH} و E_{non-CH} كما يلي:

$$E_{CH} = [k * E_{elec} * (N/M - 1)] + [k * E_{DA} * (N/M) + k * E_{elec}] + [k * e_{amp} * (d_{toBS})^\alpha] \quad (7)$$

$$E_{non-CH} = [k * E_{elec} + k * e_{amp} * (d_{toCH})^\alpha] \quad (8)$$

حساب الطاقة المستهلكة في الشبكة متضمنة الطاقة المستهلكة خلال عملية العقدة الديناميكية في

البروتوكول LEACH

يوجد العديد من الخطوات المستهلكة للطاقة في كل مرحلة من المراحل التي يمر بها البروتوكول LEACH ولا سيما مرحلة الإعداد، ولكن غالباً ما يتم إهمال هذه الطاقة عند حساب الريح في الطاقة الذي يحققه هذا البروتوكول. يمكن تعريف هذه المراحل كما يلي [7]:

1-مرحلة الارتباط بالمحطة: تقوم العقد التي قامت بانتخاب نفسها كرؤوس بإرسال رسائل طلب ارتباط

بالمحطة التي تقوم بدورها بتخصيص حيز زمني لكل منهم. تتألف الطاقة المصروفة في هذه المرحلة من:

- الطاقة المصروفة في الرأس والناطقة عن إرساله طلب الارتباط بالمحطة وتحسب هذه الطاقة كما يلي:

$$E_{CH} = k_c * E_{elec} + k_c * e_{amp} * (d_{tosink})^\alpha \quad (9)$$

- الطاقة المستهلكة في الرأس والناطقة عن استقبال الجدولة من المحطة وتحسب هذه الطاقة كما يلي:

$$E_{CH} = k_t * E_{elec} \quad (10)$$

2-مرحلة الاعلان: تقوم العقد التي قامت بانتخاب نفسها كرؤوس بإرسال رسالة إعلان عبر الشبكة لتعرف عن

نفسها، حيث تقوم العقد العادية باستقبال هذه الاعلانات من جميع الرؤوس واختيار الرأس الأقرب إليها وإرسال طلب انضمام إليه. يقوم الرأس بعدها باستقبال طلبات الانضمام من العقد التي قامت باختياره وإرسال الجدولة إليهم. تتألف الطاقة المصروفة في هذه المرحلة من:

- الطاقة المصروفة في الرأس والناطقة عن إرسال رسائل الإعلان إلى عقد الشبكة وتحسب هذه الطاقة كما

يلي:

$$E_{CH} = k_c * E_{elec} + k_c * e_{amp} * (d_{max})^\alpha \quad (11)$$

- الطاقة المصروفة في العقد العادية والناطقة عن استقبال الاعلانات من الرؤوس في الشبكة وتحسب هذه

الطاقة كما يلي:

$$E_{non-CH} = M * [k_c * E_{elec}] \quad (12)$$

- الطاقة المصروفة في العقد العادية والناطقة عن إرسال طلبات الانضمام الى الرأس الذي قامت باختياره

وتحسب هذه الطاقة كما يلي:

$$E_{non-CH} = [k_c * E_{elec} + k_c * e_{amp} * (d_{toCH})^\alpha] \quad (13)$$

- الطاقة المصروفة في الرأس والناطقة عن استقبال طلبات الانضمام من كل العقد التي قامت باختياره في

الشبكة وتحسب هذه الطاقة كما يلي:

$$E_{CH} = (N/M - 1) * [k_c * E_{elec}] \quad (14)$$

- الطاقة المصروفة في الرأس والناطقة عن إرسال الجدولة إلى كل العقد التي قامت باختياره كرأس لها،

وتحسب هذه الطاقة كما يلي:

$$E_{CH} = k_t * E_{elec} + k_t * e_{amp} * (d_{max})^\alpha \quad (15)$$

- الطاقة المصروفة في العقد العادية والناطقة عن استقبال الجدولة من الرأس الذي ارتبطت به، وتحسب هذه

الطاقة كما يلي:

$$E_{non-CH} = k_t * E_{elec} \quad (16)$$

3-مرحلة نقل البيانات الفعلية من عقد الشبكة الى المحطة عبر الرؤوس: تقوم الرؤوس باستقبال البيانات

الفعلية من الاعضاء، وتقوم بتجميعها وارسالها الى المحطة. تتألف الطاقة المصروفة في هذه المرحلة من:

- الطاقة المستهلكة في العقد العادية الناتجة عن ارسال البيانات الفعلية الى الرأس وفق:

$$E_{non-CH} = [k_d * E_{elec} + k_d * e_{amp} * (d_{toCH})^\alpha] \quad (17)$$

- الطاقة المستهلكة في الرأس والناطقة عن استقبال البيانات الفعلية من الأعضاء وفق:

$$E_{CH} = (N/M - 1) * [k_d * E_{elec}] \quad (18)$$

- الطاقة المستهلكة في الرأس والناطقة عن تجميع البيانات التي تم استقبالها من الاعضاء وارسالها الى المحطة:

$$E_{CH} = k_d * E_{DA} * (N/M) + k_d * E_{elec} + k_d * e_{amp} * (d_{tosink})^\alpha \quad (19)$$

حيث أن E_{CH} الطاقة المستهلكة في رأس العقود، E_{non-CH} الطاقة المستهلكة في العقد العادية، N عدد العقد الكلية في الشبكة، M عدد الرؤوس، K_c حجم بيانات التحكم، K_t حجم بيانات الجدولة، d_{max} المسافة العظمى التي يتوجب على الرأس إرسال رسائل التحكم وفقها ليغطي جميع عقد الشبكة.

7-الحل المقترح لتخفيض الطاقة المستهلكة خلال عملية العنقدة في البروتوكول LEACH

يهدف هذا الاقتراح إلى استبدال بعض خطوات خوارزمية العنقدة التي يستخدمها البروتوكول LEACH والمتسببة باستهلاك طاقة إضافية بخطوات أخرى أقل استهلاكاً للطاقة، مما يؤدي إلى حفظ طاقة أكبر في الشبكة ويحسن أداءها. يتلخص هذا المقترح بالخطوات التالية:

- 1-تقوم العقد في الدورة الأولى بانتخاب نفسها كرؤوس كما في البروتوكول LEACH تماماً.
- 2-يتم بعدها البدء بنقل البيانات من الأعضاء إلى الرؤوس في الإطارات الزمنية بشكل مشابه للخوارزمية الأصلية حتى الوصول إلى الإطار الأخير.
- 3-تقوم العقد التي يحق لها أن تلعب دور رأس عقود في الدورة التالية بتوليد رقم عشوائي وتقارنه بالعتبة، فإذا كان هذا الرقم أكبر من العتبة فإن هذه العقد ستلعب دور رأس عقود في الدورة التالية، تقوم عندها هذه العقد بتضمين ترشيح نفسها كرأس عقود للدورة التالية مع البيانات التي تقوم بإرسالها إلى الرأس في الإطار الأخير.
- 4-تقوم رؤوس العناقيد بإرسال بيانات العقد التي قررت أن تلعب دور رأس عقود للدورة التالية مع آخر بيانات سترسلها إلى المحطة.
- 5-تقوم المحطة باستقبال البيانات متضمنة المعلومات عن الرؤوس الجديدة من الرؤوس الحالية وتعمل على نشرها في الشبكة.
- 6-تستقبل جميع العقد بيانات الرؤوس الجديدة، وتحدد بناءً عليها الرأس الأقرب إليها والذي سترتبط به وترسل إليه طلب ارتباط.

7-يستقبل كل رأس طلبات الارتباط من العقد التي قامت باختياره كما في LEACH، ويحدد لكل منها حيز زمني لتبدأ بعدها مرحلة الاستقرار.

لحساب الطاقة المستهلكة خلال عملية العنقدة الديناميكية في البروتوكول LEACH وفق الاقتراح السابق نقوم بحذف العلاقتين (9) و(11) من الفقرة السابقة وهما من أكثر العلاقات استهلاكاً للطاقة خلال عملية العنقدة، حيث تعبر العلاقة (9) عن الطاقة المصروفة في الرأس والناطقة عن إرساله طلب الارتباط بالمحطة لأنه ووفقاً للحل المقترح في الخطوة 4 فإن الرؤوس الحالية تضمن معلومات الرؤوس الجديدة مع رسائل البيانات وبالتالي فإن الرؤوس الجديدة لن تقوم بإرسال معلوماتها إلى المحطة، أما العلاقة (11) فتعبر عن الطاقة المصروفة في الرأس والناطقة عن إرسال رسائل الإعلان إلى عقد الشبكة، حيث أنه ووفقاً للحل المقترح في الخطوة 5 فإن المحطة هي من تقوم بنشر معلومات الرؤوس في الشبكة بدلاً من أن تقوم الرؤوس بذلك.

الدراسة التجريبية

نموذج الشبكة:

سنعتمد في دراستنا على نموذج لشبكة من الحساسات اللاسلكية مؤلف من N عقدة منشورة عشوائياً في منطقة مساحتها $L * L \text{ m}^2$ ومحطة قاعدية واحدة. تعمل كل عقدة على جمع البيانات وإرسالها إلى المحطة القاعدية أو إلى رأس العنقود المرتبطة به والذي يقوم بدوره بتجميع البيانات التي تصل إليه وإرسالها إلى المحطة القاعدية. يمكن تلخيص خصائص نموذج الشبكة المستخدم بما يلي:

• تملك جميع العقد نفس الامكانيات من حيث جمع البيانات والمعالجة والاتصال والطاقة الابتدائية.

• تعد طاقة جميع العقد محدودة.

• تعتبر جميع العقد ثابتة، وتقوم بجمع البيانات بشكل دوري وإرسالها إلى المحطة.

• اعتبار المحطة القاعدية ثابتة، وتقع خارج حدود حقل المراقبة ولا تملك قيود على الطاقة.

سنقوم أولاً بمحاكاة البروتوكول LEACH على شبكة WSN بدون أخذ الطاقة المستهلكة خلال عملية العنقدة بعين الاعتبار (سنعدو هذا النموذج بالنموذج الأول)، ومن ثم سنقوم بمحاكاة البروتوكول LEACH على نفس الشبكة مع أخذ الطاقة المستهلكة خلال عملية العنقدة بعين الاعتبار (سنعدو بالنموذج الثاني)، وذلك بهدف حساب تكاليف عملية العنقدة ودراسة إمكانية إهمالها أو توجب أخذها بعين الاعتبار عند حساب الطاقة المتبقية في شبكة WSN، كما سنقوم باستخدام برنامج الـ MATLAB كأداة للمحاكاة حيث قامت معظم المراجع التي اعتمدنا عليها باستخدامه لإجراء المحاكاة. يوضح الجدول (1) قيم البارامترات المستخدمة في المحاكاة [7][3].

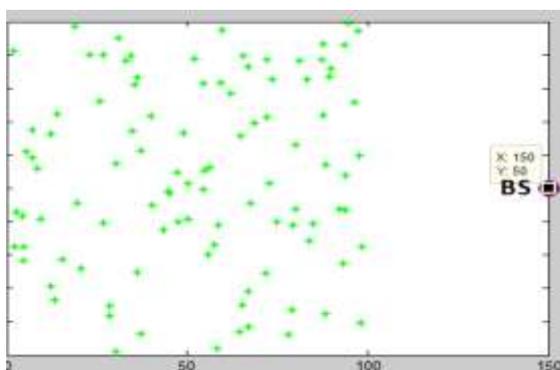
الجدول (1): القيم العددية المتعلقة بنموذج الشبكة ونموذج الطاقة المستخدمين في عملية المحاكاة

النوع	البارامتر	القيمة
الشبكة	عدد العقد الكلي N	100
	مساحة الحقل	100m*100m
	موقع المحطة (x,y)	(150,50)
عقدة الحساس	E_0 الطاقة الابتدائية التي تزود بها كل عقدة	0.5 Joul
	حجم البيانات التي يتم إرسالها من العقد إلى رأس العنقود حجم بيانات التحكم والجدولة التي يتم إرسالها في الشبكة	$K_d=4096$ bits $K_C=K_t=25$ bits
	تكلفة تجميع البيانات للبت الواحد E_{DA}	5 nJoul
نموذج الاتصال اللاسلكي	تكلفة تشغيل دائرة الإرسال والاستقبال للبت الواحد E_{elec}	70 nJoul
	الطاقة المستهلكة في المضخم للبت الواحد E_{amp}	$e_{fs} = 10\text{pJ/bit/m}^2$ (free space loss) $e_{tg} = 0.0013\text{pJ/bit/m}^4$ (multi path loss)
	مسافة التقاطع التي تحدد نموذج النقل في القناة d_0	87m

مقاييس الأداء:

- سنقوم بالاعتماد على مجموعة من المقاييس لدراسة أثر الطاقة المستهلكة خلال عملية العنقدة وهي: زمن موت أول عقدة، عدد العقد الحية في كل دورة، عدد العقد الميتة في كل دورة، وتعرف هذه المقاييس كما يلي:
- **زمن موت أول عقدة (FND) First Dead Node**: هي الدورة التي يتم فيها نفاذ طاقة أول عقدة في الشبكة، ويحدد هذا الزمن فترة الاستقرار في الشبكة.
 - **عدد العقد الحية Number of Alive Nodes**: هو عدد العقد التي مازالت تملك طاقة حتى الدورة الحالية.
 - **عدد العقد الميتة Number of Dead Nodes**: هو عدد العقد التي فقدت كامل طاقتها حتى الدورة الحالية.

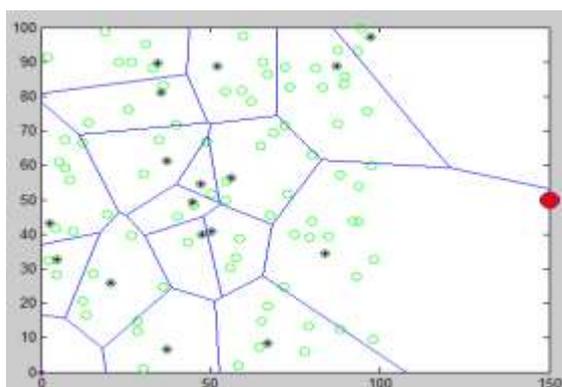
النتائج والمناقشة:



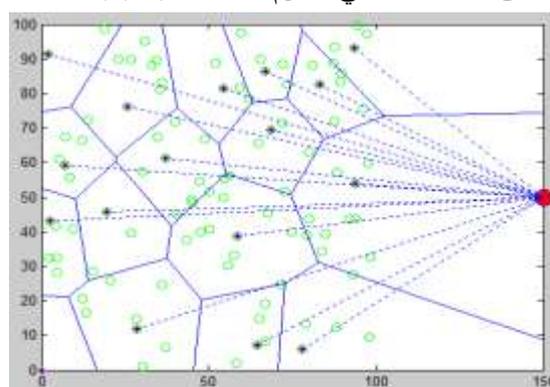
الشكل (4): أماكن توزع العقد العادية والمحطة في الشبكة

يوضح الشكل (4) أماكن توزع العقد العادية والمحطة القاعدية BS في الشبكة، حيث تُمثل العقد العادية بنجمة والمحطة القاعدية بدائرة كبيرة ممثلة.

يُظهر الشكل (5) تجميع عقد الشبكة في عناقيد عند تطبيق البروتوكول LEACH في إحدى الدورات بينما يُظهر الشكل (6) قيام رؤوس العناقيد بنقل البيانات التي قامت بتجميعها إلى المحطة القاعدية في دورة أخرى ويُظهر الشكلان معا بشكل جلي مفهوم العنقدة الديناميكية.



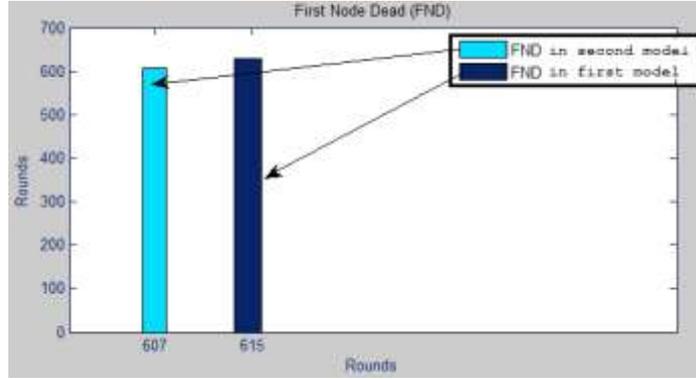
الشكل (5): تجميع العقد في عناقيد باستخدام LEACH



الشكل (6): نقل البيانات من الرؤوس إلى BS في LEACH

بعد تنفيذ المحاكاة تبين أن البروتوكول LEACH في النموذج الثاني يعطي فترة استقرار أصغر من النموذج الأول، حيث فقدت أول عقدة طاقتها في الدورة 607 في النموذج الثاني بينما فقدت أول عقدة طاقتها في الدورة 615

في النموذج الأول، ويعود السبب في ذلك إلى أننا لم نأخذ في النموذج الأول الطاقة المستهلكة خلال عملية العنقدة بعين الاعتبار بينما قمنا باعتبارها في النموذج الثاني مما قلل الطاقة المتبقية في الشبكة وجعل فترة الاستقرار في النموذج الثاني أصغر. يبين الشكل (7) زمن موت أول عقدة في كلا النموذجين.

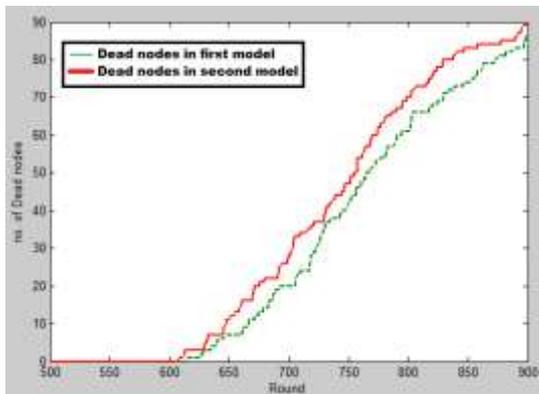


الشكل(7): زمن موت أول عقدة عند تطبيق البروتوكول LEACH في النموذجين الأول والثاني.

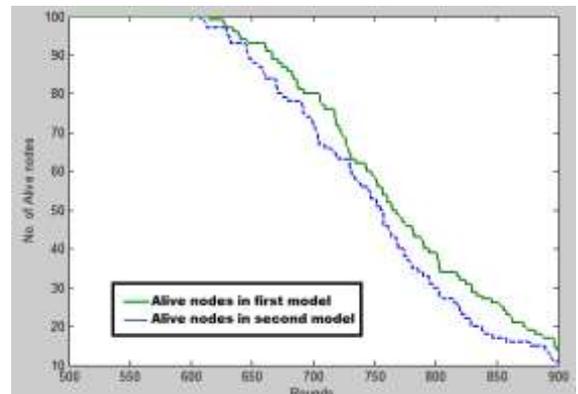
كما أوضحت نتائج المحاكاة تأثير عدد العقد الحية والميتة في كل دورة، يوضح الجدول (2) عدد العقد الحية والميتة في كلا النموذجين في الدورات 600، 700، 800، حيث نلاحظ من النتائج زيادة عدد العقد الميتة ونقصان عدد العقد الحية في النموذج الثاني (عند أخذ طاقة الحمل الزائد الناتج عن العنقدة بعين الاعتبار). يوضح الشكلان (8) و(9) عدد العقد الحية والميتة في كل دورة حتى الوصول إلى الدورة 900 من عمر الشبكة.

الجدول (2): عدد العقد الحية والميتة في الدورات 600 و700 و800 في النموذجين 1 و2

الدورة	عدد العقد الحية		عدد العقد الميتة	
600	النموذج الأول	100	النموذج الأول	0
	النموذج الثاني	100	النموذج الثاني	0
700	النموذج الأول	80	النموذج الأول	20
	النموذج الثاني	72	النموذج الثاني	28
800	النموذج الأول	39	النموذج الأول	61
	النموذج الثاني	30	النموذج الثاني	70



الشكل(9): عدد العقد الميتة في النموذجين الأول والثاني

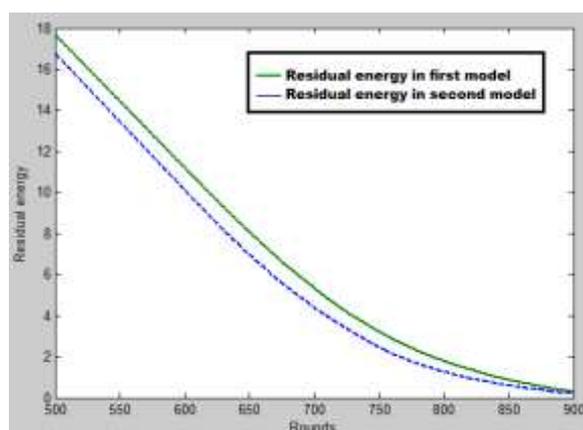


الشكل(8): عدد العقد الحية في النموذجين الأول والثاني

كما يوضح الشكل (10) الطاقة المتبقية في الشبكة في كل دورة في كلا النموذجين، حيث نلاحظ أن الطاقة المتبقية في الشبكة في النموذج الأول (الخط المستمر) أكبر من الطاقة المتبقية في الشبكة في النموذج الثاني (الخط المنقط) ويعود السبب في ذلك إلى أخذ الطاقة المستهلكة خلال عملية العنقدة بعين الاعتبار في النموذج الثاني مما يؤدي إلى نقصان الطاقة المتبقية في الشبكة مقارنة بالنموذج الأول. يوضح الجدول (3) الطاقة المتبقية في الشبكة في الدورات 300,600,700,800 في النموذجين الأول والثاني.

الجدول(3): الطاقة المتبقية في كل دورة في النموذجين الأول والثاني

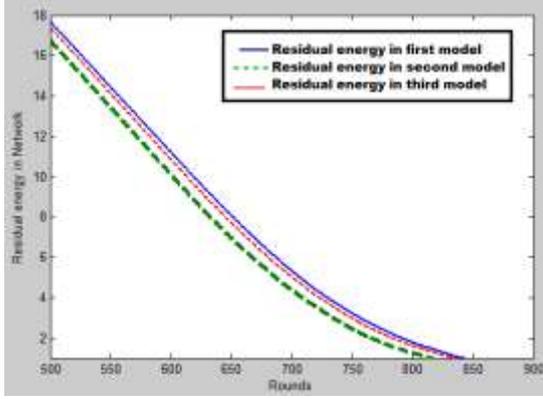
الدورة	الطاقة المتبقية في الشبكة بالجدول	
300	النموذج الأول	30.60559778
	النموذج الثاني	30.06150718
600	النموذج الأول	11.20669851
	النموذج الثاني	10.1261673729903
700	النموذج الأول	5.339406834
	النموذج الثاني	4.39653245067572
800	النموذج الأول	1.777787028
	النموذج الثاني	1.26963456680794



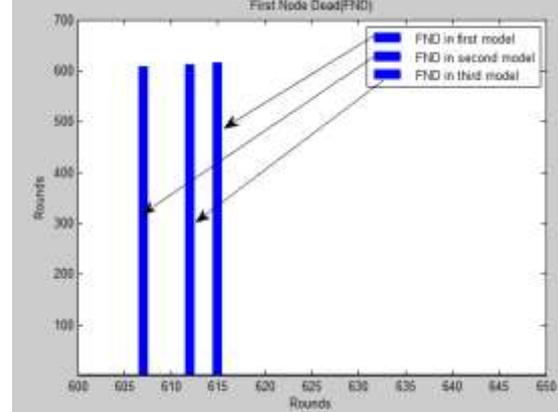
الشكل(10): الطاقة المتبقية في الشبكة في النموذجين الأول والثاني

يتبين من الأشكال والجداول السابقة تأثر كل من فترة الاستقرار وعدد العقد الحية والمينة والطاقة المتبقية في الشبكة في كل دورة عند أخذ الطاقة المستهلكة خلال عملية العنقدة بعين الاعتبار، ويعود هذا إلى أننا أخذنا بالحسبان الطاقة المستهلكة خلال عملية العنقدة في النموذج الثاني بينما تم إهمالها في النموذج الأول. سنقوم الآن بتطبيق البروتوكول LEACH وفق الطريقة المقترحة على نفس شبكة WSN المبينة بالشكل (4) (سندعو هذا النموذج بالنموذج الثالث)، ومن ثم سنقوم بمقارنة النتائج مع النتائج التي حصلنا عليها عند تطبيق النموذجين الأول والثاني. بعد تنفيذ المحاكاة تبين أن البروتوكول LEACH في النموذج الثالث يعطي فترة استقرار أقل من النموذج الأول وأكبر من الثاني، حيث فقدت أول عقدة طاقتها في الدورة 612 في النموذج الثالث، بينما فقدت أول عقدة طاقتها في الدوريتين 607 و 615 في النموذجين الثاني والأول على التوالي مما يظهر تحسن في فترة الاستقرار عند استخدام الطريقة المقترحة مقارنة بالنموذج الثاني. يبين الشكل (11) زمن موت أول عقدة في كل نموذج، كما تظهر الأشكال (12) و(13) و(14) الطاقة المتبقية في الشبكة وعدد العقد المينة وعدد العقد الحية في كل دورة لكل نموذج على التوالي،

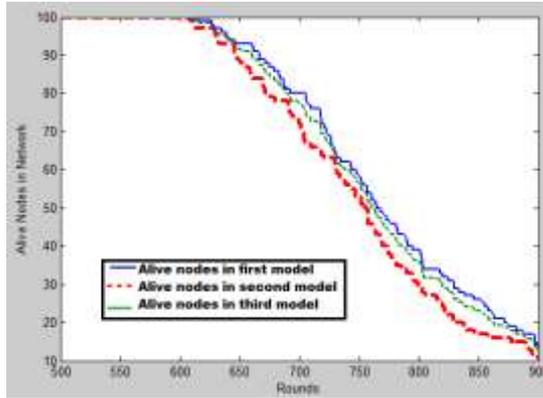
حيث تظهر هذه الأشكال أن استخدام الطريقة المقترحة تزيد كل من الطاقة المتبقية وعدد العقد الحية في الشبكة كما تقلل من عدد العقد الميتة مقارنة بالنموذج الثاني.



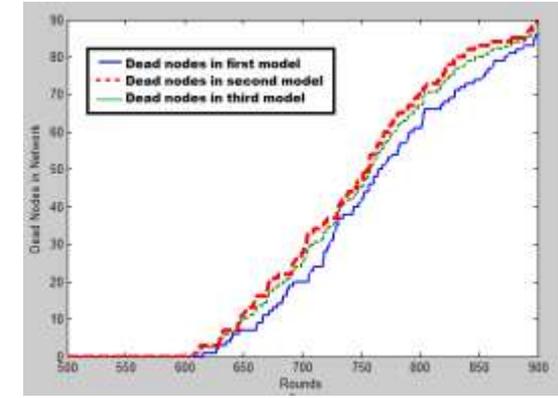
الشكل(12): الطاقة المتبقية في الشبكة في النماذج 1و2و3



الشكل(11): زمن موت أول عقدة في النماذج 1و2و3



الشكل(14): عدد العقد الحية في النماذج 1و2و3



الشكل(13): عدد العقد الميتة في النماذج 1و2و3

الاستنتاجات والتوصيات

نستنتج من الدراسة السابقة ما يلي:

• تؤثر الطاقة المستهلكة في عملية العنقدة على أداء شبكات WSN حيث أنه واستناداً إلى الأشكال (7) و(10) نلاحظ تناقص كلٍ من فترة الاستقرار والطاقة المتبقية في الشبكة عند أخذ الطاقة المستهلكة خلال عملية العنقدة في البروتوكول LEACH بعين الاعتبار.

كما ويظهر الشكلين (8) و(9) زيادة عدد العقد الميتة وتناقص عدد العقد الحية في الشبكة عند أخذ هذه الطاقة بعين الاعتبار.

• استناداً إلى الأشكال (11) و(12) نلاحظ بأن الطريقة المقترحة في النموذج الثالث تزيد كلٍ من فترة الاستقرار والطاقة المتبقية في الشبكة مقارنة بفترة الاستقرار والطاقة المتبقية عند تنفيذ النموذج الثاني، كما، وتظهر الأشكال (13) و(14) نقصان عدد العقد الميتة وزيادة عدد العقد الحية في كل دورة في النموذج الثالث مقارنة بالنموذج الثاني، ويعود ذلك الى تخفيض الطريقة المقترحة للطاقة المستهلكة خلال عملية انتخاب رؤوس العناقيد في الشبكة وفقاً للبروتوكول LEACH.

• يوصى باستخدام البروتوكول LEACH بعد تعديل طريقة انتخاب الرؤوس في الشبكة بالطريقة التي تم اقتراحها لما أبدته هذه الطريقة من تحسن في فترة الاستقرار وعدد العقد الحية في الشبكة.

الخاتمة والآفاق المستقبلية:

تتكون شبكات الحساسات اللاسلكية من مجموعة من العقد الصغيرة والتي تملك موارد محدودة ولاسيما في موضوع الطاقة، وتعد البروتوكولات الهرمية (المعتمدة على العقدة) إحدى الطرق المتبعة لحفظ الطاقة في هذه الشبكات وإطالة فترة عملها. قمنا في هذا البحث بدراسة تأثير الحمل الزائد في الطاقة الناتج عن العقدة الديناميكية في البروتوكول LEACH، كما قمنا باقتراح طريقة لتخفيض هذه الطاقة، تتلخص الطريقة المقترحة بجعل العقد تقرر الدور الذي ستلعبه في الدورة التالية أثناء الدورة الحالية، حيث تقوم كل عقدة قررت لعب دور رأس عقود بإبلاغ رأسها الحالي بذلك، تقوم الرؤوس الحالية بتضمين معلومات الرؤوس الجديدة مع آخر رزمة بيانات سترسلها إلى المحطة، تتولى المحطة بعدها مسؤولية نشر معلومات الرؤوس الجديدة في الشبكة لتبدئ بعدها عملية تشكيل العناقيد من جديد. أظهرت نتائج المحاكاة باستخدام MATLAB أن الطريقة المقترحة خفضت من الطاقة المستهلكة، كما أنها زادت من فترة الاستقرار وعدد العقد الحية في الشبكة. يمكننا في المستقبل دراسة تأثير عملية إعادة العقدة والآلية المتبعة في اختيار الرؤوس وعددها على الطاقة المستهلكة في الشبكة، ومحاولة البحث عن حلول لخفض هذه الطاقة، مما يزيد زمن حياة الشبكة ويحسن أدائها.

المراجع:

- [1] AKYILDIZ, I.F.; SU, W.; SANK, Y.; CAYIRCI, E. *Wireless sensor networks: A survey*. Computer Network. 2002, 38, 393–422.
- [2] AI-KARAKI, J.N.; KAMAL, A.E. *Routing techniques in wireless sensor networks: A survey*. IEEE Wirel. Commun. 2004, 11, 6–28.
- [3] KULIK, J.; HEINZELMAN, W.R.; BALAKRISHNAN, H. *Negotiation based protocols for disseminating information in wireless sensor networks*. Wirel. Netw. 2002, 169–185.
- [4] INTANAGONWIWAT, C.; GOVINDAN, R.; ESTRIN, D.; HEIDEMANN, J. *Directed diffusion for wireless sensor networking*. IEEE/ACM Trans. Netw. 2003, 11, 2–16.
- [5] HEINZELMAN, W.R.; CHANDRAKASAN, A.; BALAKRISHNAN, H. *Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks*. In Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, Maui, HI, USA, 4–7 January 2000; pp. 10–19.
- [6] YOUNIS, O.; FAHMY, S. *HEED: A hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad-hoc sensor networks*. IEEE Trans. Mobile Comput. 2004 366–379.
- [7] RABIA, N.; MUMTAZUL I.; REHAN I. *Energy Consumption in Random Cluster Head selection Phase of WSN*. IPCSIT vol. 30, 2012.
- [8] SHILPA, M.; JYOTEESH M.; SANDEEP S. *An energy balanced QoS based cluster head selection strategy for WSN*. Egyptian Informatics Journal. 2014, 15, 189–199.
- [9] XUXUN, L. *A Survey on Clustering Routing Protocols in Wireless Sensor Networks*. Sensors 2012.