

## تقييم أداء بروتوكولات التوجيه الهرمية في شبكات الحساسات اللاسلكية المتجانسة والمتباينة

الدكتور أحمد صقر أحمد\*

اناس ليلي\*\*

(تاريخ الإيداع 30 / 9 / 2014. قُبِلَ للنشر في 14 / 1 / 2015)

### □ ملخص □

أدت كل من التكلفة المنخفضة وسهولة نشر شبكات الحساسات اللاسلكية إلى جعلها خياراً جذاباً للعديد من التطبيقات مثل تطبيقات مراقبة البيئة والتعقب في الزمن الحقيقي والأمن وغيرها. ولكن في الواقع تتغذى عقد هذه الشبكات من البطاريات وتملك قيوداً على الذاكرة، وعرض الحزمة المتاح، والقدرة على المعالجة، مما جعلها توصف بأنها شبكات ذات طبيعة مقيدة للموارد وهذا ما فرض مجموعة من التحديات على تصميم وأداء هذه الشبكات. إن سعة البطارية المحدودة في عقد الحساسات جعل موضوع استهلاك الطاقة بفعالية وكفاءة تحدٍ رئيسي في هذه الشبكات. لذا توجب على بروتوكولات التوجيه أن تستخدم الطاقة بفعالية بهدف إطالة عمر الشبكة. قمنا في هذه البحث بإجراء محاكاة لمجموعة من بروتوكولات التوجيه الهرمية وهي LEACH, SEP, DEEC, TEEN وتقييم أدائها مقارنة ببروتوكول النقل المباشر DT وذلك في شبكات WSN المتجانسة والمتباينة باستخدام الماتلاب.

**الكلمات المفتاحية:** شبكات الحساسات اللاسلكية، بروتوكولات التوجيه الهرمية، فترة الاستقرار، بروتوكول النقل المباشر، LEACH, SEP, DEEC, TEEN، ماتلاب.

\*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.

## Performance Evaluation of Hierarchical Routing Protocols in Homogeneous and Heterogeneous Wireless Sensor Networks

Dr. Ahmad Saker Ahmad\*  
Inas Laila\*\*

(Received 30 / 9 / 2014. Accepted 14 / 1 / 2015)

### □ ABSTRACT □

The low cost, ease of deployment has exposed WSNs an attractive choice for numerous applications like environmental monitoring applications , security applications, real time tracking, and so on.

But in reality, these networks are operated on battery with limitations in their computation capabilities, memory, bandwidth ,so they called networks with resource constrained nature, and this impels various challenges in its design and its performance.

Limited battery capacity of sensor nodes makes energy efficiency a major and challenge problem in wireless sensor networks. Thus, the routing protocols for wireless sensor networks must be energy efficient in order to maximize the network lifetime.

In this paper we simulated LEACH,SEP,DEEC,TEEN routing protocols and evaluated their performance by comparing with DT routing protocol in Homogeneous and Heterogeneous Wireless Sensor Networks on MATLAB.

**Key words:** Wireless Sensor Network (WSN), Hierarchical Routing Protocols, Stability Period ,DT, LEACH,SEP,DEEC,TEEN,MATLAB.

---

\*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:**

مكّن 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 والاتصال فيما بينها تدعى هذه العقد بالحساسات. ويشكل الترابط بين هذه العقد شبكة تدعى بشبكة الحساسات اللاسلكية (wireless sensor network) والتي يشار إليها بـ (WSN)، تتمتع هذه الشبكة بانخفاض تكلفتها و سهولة 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 مقيّدة، 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. ان تصميم بروتوكولات وتطبيقات تأخذ موضوع محدودية الطاقة بعين الاعتبار يعتبر امراً ضرورياً وذلك لان عملية تبديل بطاريات هذه العقد هو موضوع شاق أو غير ممكن في بعض الحالات [1,2].

إن الطرق التقليدية لنقل البيانات من العقد الى المحطة كالنقل المباشر (DT) Direct Transmission او النقل عبر المسارات ذات طاقة النقل الأصغر (MTE) Minimum Transmission Energy لا تضمن التوزيع المتوازن للطاقة المصروفة بين العقد مما يؤدي الى نفاذ بطارية لبعضها وتوقفها عن العمل و خروج جزء من الحقل عن نطاق المراقبة و هذا ما يجعل عملية جمع البيانات من الحقل توشم بأنها غير موثوقة .

يعد التوجيه الهرمي Hierarchical Routing من الأبحاث النشطة في شبكات WSN وذلك للإيجابيات الكثيرة التي يتفوق بها على Flat Routing ولاسيما في موضوع حفظ الطاقة والتي تعد من أهم التحديات التي تواجه هذا النوع من الشبكات [1][2].

يعد البروتوكول LEACH [4] أول بروتوكول هرمي صُمم بهدف إطالة عمر شبكات WSN، حيث يقوم هذا البروتوكول بضمان التوزيع الجيد للطاقة المصروفة بين العقد وذلك عن طريق تجميع العقد في عناقيد وتبديل وظيفة رأس العنقود بين العقد بشكل دوري، 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.

يعمل هذا البروتوكول على موازنة الطاقة المستهلكة بين العقد مع مرور الوقت وذلك عن طريق تدوير وظيفة رأس العنقود بينهم مما يؤدي إلى اطالة الفترة التي تعمل بها الشبكة قبل نفاذ طاقة أول عقدة فيها وهذا ما يطلق عليه فترة الاستقرار Stability Period. إلا أن هذا البروتوكول لا يأخذ طاقة العقد الابتدائية بعين الاعتبار ويفترض أن العقد تملك نفس المقدار من الطاقة الابتدائية (متجانسة).

لحل هذه المشكلة قام الباحثون بتطوير البروتوكول SEP والذي يتم فيه تثقيل احتمال انتخاب رؤوس العناقيد بالطاقة الابتدائية للعقد مما يجعل العقد التي تملك طاقة ابتدائية أكبر تملك احتمال أكبر لتلعب دور رأس العنقود مما يحفظ التوازن في طاقة العقد ويطيل فترة الاستقرار في الشبكة ، إلا ان هذا البروتوكول يميز فقط بين مستويين من الطاقة ولا يدعم التباين متعدد المستويات مما دفع الباحثين الى تطوير البروتوكول DEEC كحل لدعم الشبكات المتباينة ذات المستويات المتعددة من الطاقة بين العقد . وبينما تتناسب البروتوكولات السابقة مع تطبيقات المراقبة الدورية تم تطوير بروتوكولات هرمية أخرى كالبروتوكول TEEN الذي يأخذ خصائص التطبيق بعين الاعتبار فمثلا يتم

استخدامه لمراقبة درجة الحرارة في الحقل المدروس والابلاغ عنها عند وصولها الى حيز الاهتمام (تطبيقات اكتشاف الحدث والابلاغ عنه) مما يؤدي الى اطالة عمر الشبكة.  
سنقوم في هذا البحث بتقييم أداء البروتوكولات TEEN، DEEC ، SEP ، DT ، LEACH باستخدام MATLAB ودراسة أثر كل منها على فترة الاستقرار في شبكات WSN المتجانسة والمتباينة.

### أهمية البحث وأهدافه:

تعتبر بروتوكولات التوجيه الهرمية واحدة من الحلول الرئيسية المستخدمة لتحسين عمر شبكة WSN وإطالة فترة الاستقرار فيها، حيث تقوم هذه البروتوكولات بتقسيم الشبكة الى عناقيد، لكل عنقود رأس يقوم بتجميع البيانات من الأعضاء ويرسلها إلى المحطة القاعدية.

قام الباحثون باقتراح العديد من بروتوكولات التوجيه الهرمية لاستخدامها في هذه الشبكات، ولكل منها خوارزمية الخاصة، وعليه فإن المقارنة بين هذه البروتوكولات وقياس فعالية الخوارزمية المتبعة في كل منها من أجل تطبيقات مختلفة وفي بيئات مختلفة تساعدنا على تقييم أدائها وتبين نقاط القوة والضعف لكل بروتوكول وبالتالي يمكننا من اختيار البروتوكول الأفضل في حقل المراقبة المطلوب.

يهدف هذا البحث الى وصف البروتوكولات TEEN، DEEC ، SEP ، LEACH، ودراسة أثر كل منها على عمر شبكة WSN وفترة الاستقرار فيها.

قمنا في هذا البحث بتقييم أداء البروتوكولات السابقة في شبكات WSN المتجانسة والمتباينة بمستويين او أكثر، وذلك من أجل تطبيقات المراقبة الدورية وتطبيقات اكتشاف الحدث، ووضع مجموعة من الاستنتاجات والتوصيات اعتماداً على النتائج لاختيار بروتوكول التوجيه الأفضل في ظل التحديات المفروضة.

### طرائق البحث ومواده :

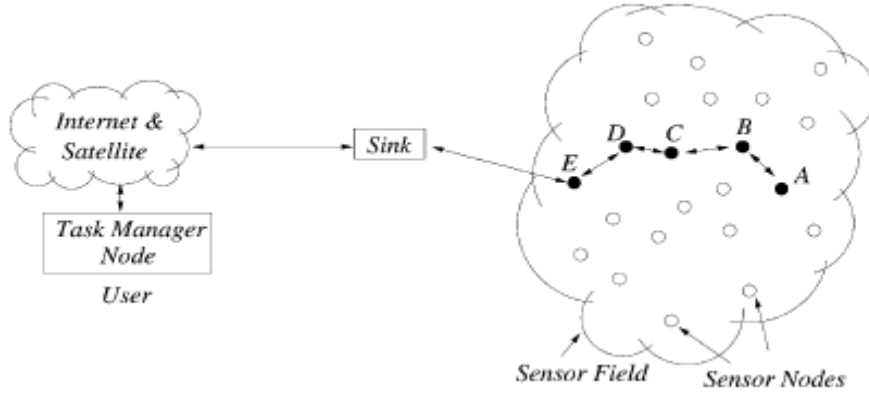
يبدأ هذا البحث بتعريف شبكات الحساسات اللاسلكية ثم ينتقل إلى شرح نظري مبسط لبعض بروتوكولات التوجيه المستخدمة فيها محدداً التحديات التي تواجه عملها و من ثم ينتقل إلى الدراسة التجريبية وذلك عن طريق بناء نماذج لشبكة الحساسات وإجراء محاكاة لمجموعة البروتوكولات المدروسة باستخدام MATLAB بهدف المقارنة بين هذه البروتوكولات من أجل سيناريوهات مختلفة، ووفقاً لمقاييس مختلفة للوصول إلى البروتوكولات التي ينصح بها من أجل كل نوع من أنواع التطبيقات. يمكن أن نلخص عملية المحاكاة في أربع خطوات رئيسية وهي:

- تصميم النموذج.
- اختيار الإحصائيات.
- تنفيذ المحاكاة.
- تحليل النتائج.

### شبكات الحساسات اللاسلكية Wireless Sensor Networks

تقوم WSN على فكرة الاستغناء عن العامل البشري الذي كان يشكل عائقاً في كثير من الأحيان لعدم قدرته على التواجد في الأماكن المراد مراقبتها وخاصة إذا تطلب جمع البيانات زمناً طويلاً، ويتم ذلك عن طريق نشر مجموعة من العقد اللاسلكية في الحقل المراد مراقبته لتقوم بجمع البيانات و بثها إلى المحطة القاعدية والتي تعمل

بدورها على تحليل هذه البيانات واتخاذ الإجراء المناسب إذا لزم الأمر، يبين الشكل(1) توزيع عقد الحساسات اللاسلكية في الحقل المراقب [1].



الشكل(1) : توزيع عقد الحساسات اللاسلكية في الحقل المراقب .

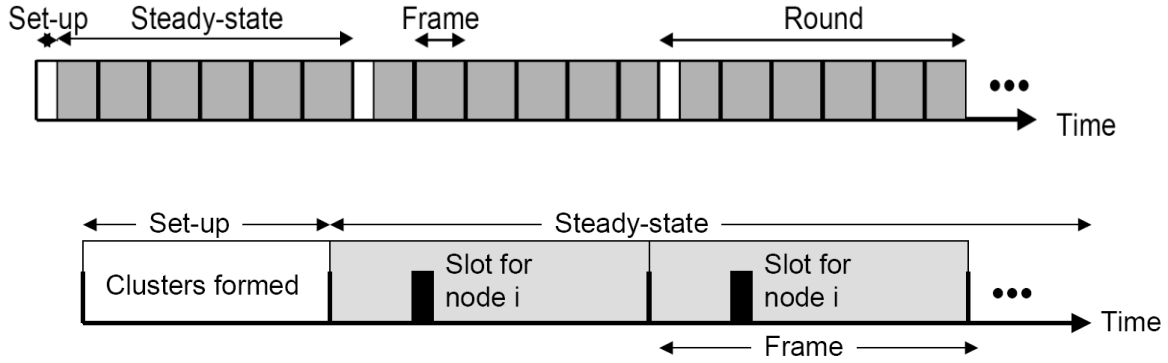
تصنف شبكات الحساسات اللاسلكية اعتماداً على عدة مفاهيم، فيمكن تصنيفها اعتماداً على مواصفات العقد المشكلة لها(متجانسة، متباينة)، أو اعتماداً على طريقة نشر هذه العقد (منتظمة، عشوائية)، أو حتى على نوع التطبيق المستخدمة من أجله ( تطبيقات المراقبة الدورية، تطبيقات اكتشاف الحدث، تطبيقات الاستعلام وغيرها).

#### بروتوكولات التوجيه الهرمية في شبكات الحساسات اللاسلكية :

تملك جميع التطبيقات التي تستخدم شبكات الحساسات اللاسلكية متطلباً رئيسياً وهو إرسال البيانات التي يتم جمعها من نقاط متعددة إلى هدف محدد و مشترك وهو المحطة القاعدية. إلا أن القيود المفروضة على هذه الشبكات جعلت موضوع التوجيه يتسم بالتحدي، حيث يجب أن تأخذ بروتوكولات التوجيه هذه القيود بعين الاعتبار أثناء عملها. ان الطرق التقليدية لنقل البيانات من العقد الى المحطة كالتنقل المباشر لا تضمن التوزيع المتوازن للطاقة المصروفة بين العقد مما يؤدي الى نفاذ البطارية لبعضها وتوقفها عن العمل مما يجعل أجزاء من المنطقة المراقبة خارج عملية المراقبة، لذلك قام الباحثون بتطوير بروتوكولات توجيه أخرى ومنها البروتوكولات الهرمية للمحافظة على التوازن بين طاقة العقد وإطالة عمر الشبكة قدر الامكان ومنها:

#### 1- البروتوكول LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy):

هو بروتوكول هرمي يعتمد على تجميع العقد في عناقيد، حيث يقوم رأس كل عنقود بتجميع البيانات من الاعضاء ومعالجتها وإرسالها إلى المحطة القاعدية. يقوم هذا البروتوكول بتدوير وظيفة رأس العنقود بين العقد واختيار رؤوس جديدة من أجل كل دورة ، مما يؤدي إلى تقليل الطاقة المستهلكة واللازمة لنقل البيانات إلى المحطة [3]. يُقسّم هذا البروتوكول فترة عمل الشبكة الى دورات Rounds، ويقسم كل دورة الى مرحلتين ،مرحلة الاعداد Set-up phase ومرحلة الثبات Steady-state Phase. يبين الشكل(2) مرحلة الاعداد ومرحلة الثبات في LEACH [3].



الشكل (2): مرحلة الإعداد Set-up phase ومرحلة الثبات Steady-state Phase في LEACH [3].

### مرحلة الإعداد:

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

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

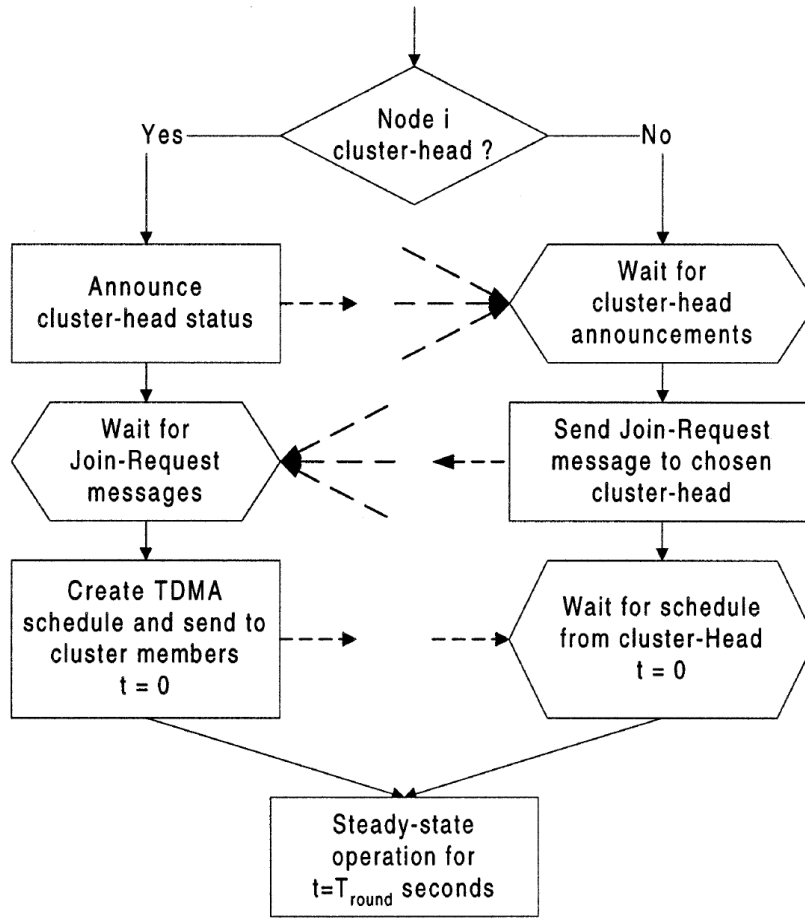
حيث ان :

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

$r$ : 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 الى الرأس الأقرب إليها لتقرر بذلك رأس العنقود الذي سترتبط به في هذه الدورة. يقوم بعدها كل رأس بتحديد حيز زمني وفق TDMA لكل عضو، مما يمنع التصادمات داخل العنقود. يوضح الشكل (3) مخطط تدفقي لمرحلة الإعداد في البروتوكول LEACH [3].

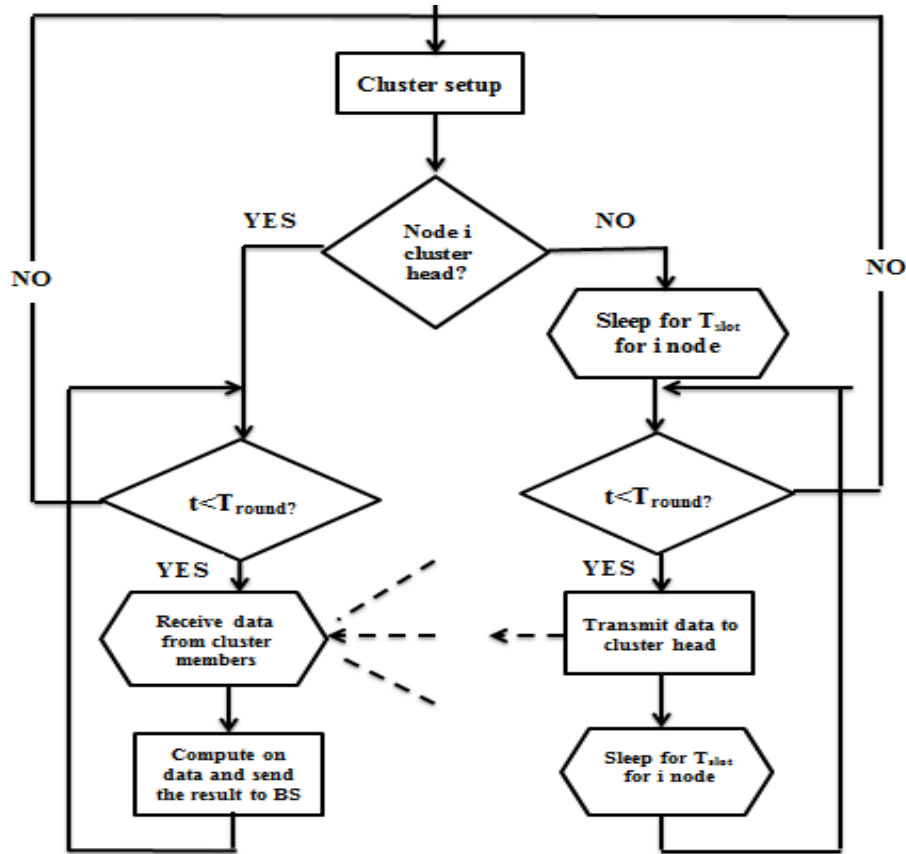


الشكل (3): مخطط تدفقي لمرحلة الإعداد في البروتوكول LEACH [3].

### مرحلة الثبات:

تقسم الفترة الزمنية لمرحلة الثبات الى إطارات زمنية حيث تقوم العقد في هذه المرحلة بإرسال بياناتها الى رأس العقنود الذي قامت باختياره مرة واحدة في كل إطار زمني وذلك ضمن الحيز الزمني المخصص لها ، يقوم بعدها كل رأس بتجميع البيانات الواردة إليه من الاعضاء وإرسالها إلى المحطة القاعدية، ويتكرر ذلك من أجل كل إطار زمني حيث يكون الحيز الزمني المخصص للعقدة ثابت ويختلف عدد الأحياز في الاطار حسب عدد الأعضاء في العقنود. لتخفيض الطاقة المستهلكة فإن العقدة تقوم بإغلاق وحدتها الراديوية حتى يحين زمن الارسال المخصص لها، كما انها تقوم باستخدام متحكم الطاقة لتحديد طاقة النقل المطلوبة والتي تقوم بتقديرها اعتماداً على قوة رسالة الاعلان التي قام رأس العقنود بإرسالها.

تعاني خوارزمية البروتوكول LEACH من عدم قدرتها على ضمان عدد العناقيد في الشبكة، حيث يختلف هذا العدد من دورة الى أخرى ،كما تعاني هذه الخوارزمية من عدم قدرتها على تحديد عدد الاعضاء في كل عقنود، مما يخلق عدم توازن في حجم العناقيد. يوضح الشكل(4)مخطط تدفقي لمرحلة الثبات في البروتوكول LEACH [3].



الشكل (4): مخطط تدفقي لمرحلة الثبات في البروتوكول LEACH [3].

## 2- البروتوكول SEP (Stable Election Protocol):

هو بروتوكول توجيه هرمي يأخذ بعين الاعتبار الطاقة الابتدائية التي تزود بها كل عقدة في الشبكة ، حيث يقوم هذا البروتوكول بتقييم احتمال الانتخاب لكل عقدة بالطاقة الابتدائية التي تحملها، مما يؤدي الى حصول العقد التي تملك طاقة ابتدائية أكبر على احتمال أكبر لتلعب دور رأس عنقود. يميز هذا البروتوكول بين نوعين من العقد في الشبكة هما عقد عادية تملك طاقة صغيرة، وعقد متقدمة تملك طاقة أكبر [4] .

بفرض كان لدينا (n) عقدة في الشبكة وكانت نسبة العقد المتقدمة m ، ونسبة الطاقة الاضافية المزودة بها

هي (α) فان الطاقة الابتدائية الكلية في الشبكة تساوي [4]:

$$n \cdot (1 - m) \cdot E_o + n \cdot m \cdot E_o \cdot (1 + \alpha) = n \cdot E_o \cdot (1 + \alpha \cdot m) \quad (2)$$

وبشكل تمثيلي سيكون لدينا  $n \cdot (1 + \alpha \cdot m)$  عقدة ذات طاقة متماثلة مقدارها  $E_o$  في الشبكة (عقد عادية) ،

وعندها سيصبح العدد الوسطي لرؤوس العناقيد في الدورة الواحدة يساوي  $n \cdot (1 + \alpha \cdot m) \times p_{nm}$  ، حيث  $p_{nm}$  هي نسبة عدد الرؤوس في شبكة تملك جميع عقدها طاقة متماثلة  $E_o$  ، و  $E_o$  هي الطاقة الابتدائية التي تزود بها عقد الشبكة العادية.

يقوم هذا البروتوكول بتغيير قيمة العتبة المحددة في البروتوكول LEACH والموضحة في العلاقة (1) ووضع

عتبة لكل نوع من العقد. بفرض  $T(snm)$  هي عتبة العقد العادية و  $T(sadv)$  هي عتبة العقد المتقدمة ، فإن قيمة

العتبة تصبح كما يلي [4]:



$$T(s_{nrm}) = \begin{cases} \frac{p_{nrm}}{1 - p_{nrm} \cdot (r \bmod \frac{1}{p_{nrm}})} & \text{if } s_{nrm} \in G' \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$$T(s_{adv}) = \begin{cases} \frac{p_{adv}}{1 - p_{adv} \cdot (r \bmod \frac{1}{p_{adv}})} & \text{if } s_{adv} \in G'' \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

حيث ان:

$$p_{nrm} = \frac{p_{opt}}{1 + \alpha \cdot m} \quad (5)$$

$$p_{adv} = \frac{p_{opt}}{1 + \alpha \cdot m} \times (1 + \alpha) \quad (6)$$

G': مجموعة العقد التي لم تلعب دور رئيس عنقود في الدورات 1/pnm الاخيرة

G'': مجموعة العقد التي لم تلعب دور رئيس عنقود في الدورات 1/padv الاخيرة

### 3-5 البروتوكول DEEC (Distributed Energy Efficient Clustering)

هو بروتوكول توجيه هرمي مدرك للتباين المتعدد المستويات بين عقد الشبكة (مدرك للاختلاف في الطاقة الابتدائية التي تزود بها العقد في الشبكة).

يأخذ DEEC بعين الاعتبار كل من الطاقة الابتدائية والطاقة المتبقية في العقد عند اختيار رؤوس العناقيد، مما يضمن حصول العقد التي تملك طاقة متبقية أكبر على احتمال أعلى لتصبح رأس عنقود من العقد التي تملك طاقة متبقية أقل، ويتم حساب هذا الاحتمال بالعلاقة التالية [5]:

$$p_i = p_{opt} \left[ 1 - \frac{\bar{E}(r) - E_i(r)}{\bar{E}(r)} \right] = p_{opt} \frac{E_i(r)}{\bar{E}(r)} \quad (7)$$

حيث تعبر  $E_i(r)$  عن الطاقة المتبقية في العقدة  $i$  في الدورة  $r$ . بينما تعبر  $\bar{E}(r)$  عن متوسط الطاقة المتاحة في الشبكة في هذه الدورة  $r$ .

بتعويض العلاقة (7) بالعلاقة (1) ينتج:

$$T(s_i) = \begin{cases} \frac{p_i}{1 - p_i \cdot (r \bmod \frac{1}{p_i})} & \text{if } s_i \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

كما ان هذا البروتوكول يحل مشكلة البروتوكول LEACH-E والذي يعمل على ربط احتمال انتخاب العقدة كرأس عنقود بالطاقة المتبقية فيها كما في DEEC الا انه يتطلب من كل عقدة ان تعلم الطاقة المتبقية في كل عقد الشبكة في كل دورة وهذا أمر صعب التحقيق إذ أنه يتطلب عمليات بث لطاقة كل عقد الشبكة في كل دورة [5]. يقوم البروتوكول DEEC بحل هذه المشكلة عن طريق الاعتماد على التوقع للحصول على الطاقة الاجمالية المتبقية في الشبكة في كل دورة وذلك كما يلي:

$$\bar{E}(r) = \frac{1}{N} E_{\text{total}} \left(1 - \frac{r}{R}\right) \quad (9)$$

حيث R هي عدد الدورات الكلية المتوقعة في عمر الشبكة وهو يحسب بالعلاقة التالية:

$$R = \frac{E_{\text{total}}}{E_{\text{round}}} \quad (10)$$

حيث تمثل  $E_{\text{total}}$  الطاقة الاجمالية الابتدائية في الشبكة و  $E_{\text{round}}$  الطاقة المتوقع استهلاكها في كل دورة .

#### 4- البروتوكول TEEN ( Threshold Sensitive Energy Efficient sensor Network ) :

تصنف شبكات الحساسات فيما يتعلق بنمط التشغيل الى صنفين هما proactive networks وفيها تقوم عقد الحساسات بتبديل حالة وحدات ارسالها بشكل دوري. حيث تقوم الحساسات في هذا النمط بجمع البيانات من البيئة المراقبة وإرسالها إلى المحطة، ومن ثم تقوم بإغلاق وحدات ارسالها لفترة زمنية معينة حتى يحين الموعد التالي لإرسال البيانات. ونجد هذا النمط في تطبيقات المراقبة الدورية التي تقوم بتأمين بيانات عن بارامترات الحقل المدروس خلال فترات زمنية معينة (snapshot). أما الصنف الثاني فهي الشبكات التفاعلية reactive networks وفيها تتم الاستجابة بشكل فوري للتغيرات المفاجئة في قيم البارامترات المراقبة. حيث يتم تشغيل جهاز الارسال لعقدة ما في حال حصولها على معلومات ذات أهمية معينة.

يعد البروتوكول TEEN أول بروتوكول هرمي مصمم للشبكات التفاعلية، وهو بروتوكول خاص بمراقبة درجة الحرارة، وفيه تلعب كل عقدة دور رأس عنقود بشكل دوري كما في LEACH، إلا ان الاختلاف يكمن في ان رأس كل عنقود يقوم ببث قيمتين الى الأعضاء هما :

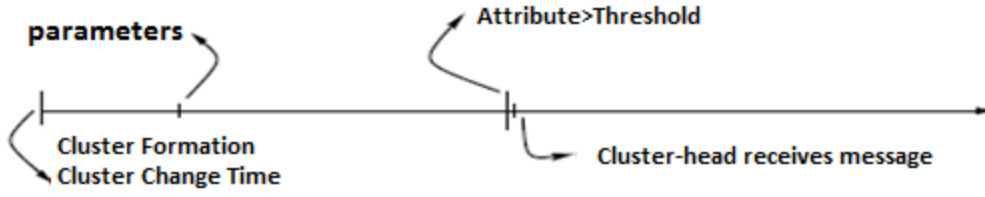
**العتبة القاسية (HT) Hard Threshold:** وهي القيمة المناسبة للواصفة المراقبة، والتي توجب على الحساس تشغيل جهاز ارساله في حال امتلك قيمة تساوي قيمة العتبة القاسية أو تتجاوزها. حيث تعمل هذه العتبة على منع العقدة من ارسال البيانات اذا كانت قيم هذه البيانات خارج مجال الاهتمام، مما يقلل من عدد عمليات الارسال ويحفظ الطاقة.

**العتبة المرنة (ST) Soft Threshold:** هو مقدار للتغيير في قيمة الوصفة المراقبة، والذي يوجب على الحساس تغيير حالة جهاز إرساله، وارسال بياناته الى الرأس فقط اذا كان الفرق بين القيمة الحالية التي حصل عليها الحساس والقيمة السابقة اكبر او يساوي قيمة العتبة المرنة [6].

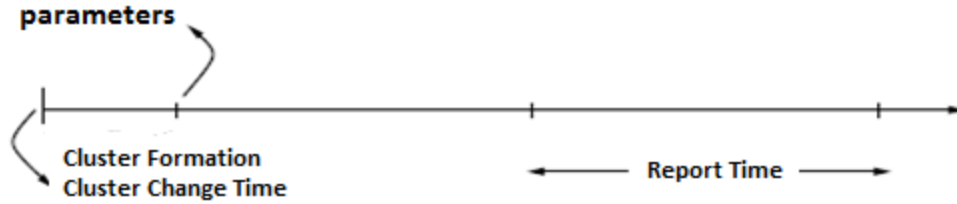
ووفقا لهذه العتبات فإن العقد تقوم بمراقبة البيئة بشكل مستمر، إلا أنها لا تقوم بإرسال البيانات إلا عند وصول قيمة البارامتر المراقب الى العتبة القاسية، عندها تقوم العقدة بتخزين هذه القيمة في متغير محلي في العقدة يسمى sensed value (SV)، ولا تقوم بالإرسال مرة اخرى إلا اذا كان الفرق بين القيمة الجديدة والقيمة المخزنة في SV أكبر أو يساوي قيمة العتبة الناعمة، وبذلك تمنع العتبة الناعمة عمليات الارسال المتكرر في حال استمرت العقدة بالحصول على بيانات متماثلة، أو حصلت على بيانات تختلف عن البيانات السابقة بفروقات طفيفة.

إذا لا يسمح TEEN بالإرسال الدوري للبيانات مما يوفر الطاقة المستهلكة في عملية الارسال في حين تبقى وحدة الاستشعار في حالة عمل مستمر، وهذا هو الاختلاف الجوهرى بينه وبين البروتوكولات الاستباقية التي تعمل على ارسال البيانات الى الرأس بشكل دوري .

يبين الشكل(5) الخط الزمني للبروتوكول TEEN، بينما يبين الشكل(6) الخط الزمني للبروتوكولات الاستباقية.



الشكل (5): الخط الزمني للبروتوكول TEEN [6]



الشكل (6): الخط الزمني للبروتوكولات الاستباقية [6]

### الدراسة التجريبية

سنقوم بوصف لنموذج الشبكة ونموذج الطاقة المستخدم في البحث.

#### 1- نموذج الشبكة:

سنعتمد في دراستنا على نموذج لشبكة WSN مؤلف من  $N$  عقدة ومحطة قاعدية واحدة، حيث توزع عقد الحساسات بشكل عشوائي في منطقة مساحتها  $L * L m^2$  (نفترض أن العقد تغطي المنطقة المراد مراقبتها وأن كل منها قادر على الاتصال بالشبكة) ، تعمل كل عقدة على جمع البيانات والتي تتمثل بالنقاط صورة اضافة الى قراءة درجة الحرارة من المنطقة التي يغطيها الحساس وإرسالها الى المحطة القاعدية أو الى رأس العقود المرتبطة به، والذي يقوم بدوره بتجميع البيانات التي تصل إليه وإرسالها إلى المحطة القاعدية. يمكن تلخيص خصائص نموذج الشبكة بما يلي:

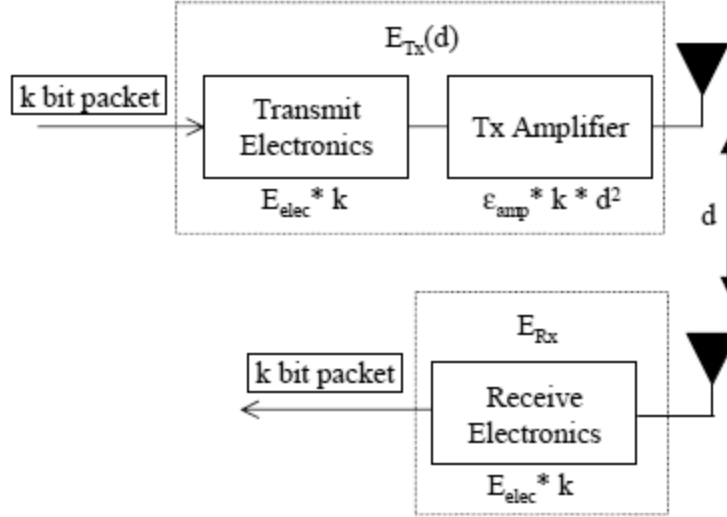
- تملك جميع العقد نفس الامكانيات من حيث جمع البيانات والمعالجة والاتصال.
- طاقة العقد محدودة .
- يمكن لطاقة العقد الابتدائية ان تكون مختلفة.
- جميع العقد ثابتة وقادرة على الاتصال بالشبكة.
- المحطة القاعدية ثابتة وتقع خارج حدود حقل المراقبة ولا تملك قيود على الطاقة .

#### 2- نموذج الطاقة:

يستخدم الحساس طاقته للقيام بثلاث وظائف رئيسية وهي: جمع البيانات من الحقل (سنقوم بإهمال الطاقة المستهلكة لأداء هذه الوظيفة في الدراسة التجريبية) ومعالجة البيانات والاتصالات، وتعد الاتصالات من أكثر الوظائف استهلاكاً للطاقة وتتضمن كلاً من عمليتي الإرسال والاستقبال وتختلف قيمة الطاقة المستهلكة حسب المسافة بين المرسل والمستقبل ويمكن ان تحسب هذه الطاقة باستخدام نموذج بسيط لاستهلاك الطاقة في العتاد الراديوي.

سنقوم باستخدام الوحدة الراديوية التي تم اقتراحها في [3] والموضحة بالشكل (7) لقياس الطاقة المستهلكة في العقدة وتتألف هذه الوحدة من ثلاث مكونات رئيسية هم المرسل والمضخم والمستقبل حيث تستهلك العقدة طاقة في

تشغيل دائرة الإرسال وتضخيم الإشارة لإرسال البيانات، كما أنها تستهلك طاقة لتشغيل دائرة الاستقبال لاستقبال البيانات.



الشكل (7): النموذج الراديوي [3]

تحتسب الطاقة المستهلكة لإرسال رسالة طولها  $k$  بت مسافة قدرها  $d$  متر بين المرسل والمستقبل بالعلاقة التالية [3]:

$$E_{tran}(k, d) = E_{elec} \times k + \epsilon_{amp} \times k \times d^\alpha \quad (11)$$

$\epsilon_{amp}$  : الطاقة المصروفة في المضخم للبت الواحد، وتتغير قيمتها حسب نموذج النقل بين المرسل

والمستقبل

$E_{elec}$  : الطاقة المصروفة لتشغيل دائرة المرسل أو المستقبل للبت الواحد .

$\alpha$  : بارامتر تتعلق قيمته بشروط النقل بين المرسل والمستقبل وهو يأخذ القيمة 2 إذا كان هناك خط نظر

مباشر بين المرسل والمستقبل (LOS)، 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  $\epsilon_{amp}$  فتأخذ إحدى القيمتين

$e_{tg}$  أو  $e_{fs}$  حسب النموذج المعتمد في النقل والذي يتم اختياره عن طريق حساب المسافة بين المرسل والمستقبل

ومقارنتها بقيمة التقاطع  $d_0$  والتي تحسب بالعلاقة التالية [3]:

$$\left[ d_0 = \sqrt{\frac{e_{fs}}{e_{tg}}} \right] \quad (12)$$

كما وتحتسب الطاقة المستهلكة لاستقبال رسالة طولها  $k$  بت بالعلاقة

$$E_{rece}(d) = E_{elec} \times k \quad (13)$$

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

$$E_{dt} = \sum_{i=1}^N E_{elec_i} k_i + e_{amp_i} k_i d_i^\alpha \quad (14)$$

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

$$E_{ct} = ME_{cluster} = M \left( E_{CH} + \frac{N}{M} E_{non-CH} \right) \quad (15)$$

حيث تحسب  $E_{non-CH}$  و  $E_{CH}$  كما يلي :

$$E_{CH} = [k * E_{elec} * (N/M-1)] + [k * E_{DA} * (N/M) + k * E_{elec} + [k * e_{amp} * (d_{toBS})^\alpha] \quad (16)$$

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

### الدراسة التجريبية

سنقوم في هذا القسم بمحاكاة بروتوكولات التوجيه DT, LEACH, SEP, DEEC, TEEN باستخدام الماتلاب لنقيّم أدائها، وذلك في ثلاث حالات بالنسبة للطاقة الابتدائية للعقد (متجانسة، متباينة بمستويين، ومتباينة بمستويات متعددة)، حيث تم اختيار بيئة المحاكاة هذه وفق أوراق بحثية [3] و [4] و [5] و [6] استخدمت فرضيات مشابهة للفرضيات التي تستخدمها هذه الدراسة. يوضح الجدول (1) قيم البارامترات المستخدمة في الحالة الأولى من المحاكاة.

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 الحساسات	الطاقة الابتدائية التي تزود بها كل عقدة $E_0$	0.5 Joul
	حجم الباكيت التي يتم ارسالها من العقد	4096 bits
	تكلفة تجميع البيانات للبت الواحد $E_{DA}$	5 nJoul
نموذج الاتصال اللاسلكي	تكلفة تشغيل دائرة الارسال 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

كما ويوضح الجدول (2) قيم البارامترات الخاصة بالبروتوكول TEEN والمستخدم في المحاكاة، حيث يسمح هذا البروتوكول للحساس بإرسال بياناته فقط في حال كانت قيمة درجة الحرارة التي حصل عليها أكبر أو تساوي قيمة العتبة القاسية وكان الفرق بينها وبين القيمة السابقة المقاسة أكبر أو يساوي قيمة العتبة المرنة.

الجدول (2) : قيم البارامترات الخاصة بالبروتوكول TEEN والمستخدم في المحاكاة

البارامتر	القيمة
المجال الذي تتراوح فيه درجات الحرارة المقاسة بالفهرنهايت	[50..200]
العتبة القاسية	100 F
العتبة المرنة	2 F

## مقاييس الأداء :

سنقوم في هذا البحث بتقييم أداء البروتوكولات DT, LEACH, SEP, DEEC, TEEN اعتماداً على مجموعة من المقاييس وهي: عمر الشبكة، فترة الاستقرار، فترة عدم الاستقرار، عدد العقد الحية، عدد العقد الميتة، وتعرف هذه المقاييس كما يلي:

• **عمر الشبكة network lifetime** : هو الزمن الفاصل بين زمن بدء عمل الشبكة و زمن موت آخر عقدة فيها.

• **فترة الاستقرار Stability Period** : هو الزمن الفاصل بين زمن بدء عمل الشبكة حتى زمن موت أول عقدة فيها، وتعتبر بعض التطبيقات الحرجة أن عمر الشبكة يتم تمثيله بهذه الفترة فقط .

• **فترة عدم الاستقرار Instability Period** : هو الزمن الفاصل بين زمن موت أول عقدة حتى زمن موت آخر عقدة فيها، وكلما كانت فترة الاستقرار أكبر وفترة عدم الاستقرار أصغر كانت الوثوقية أكبر .

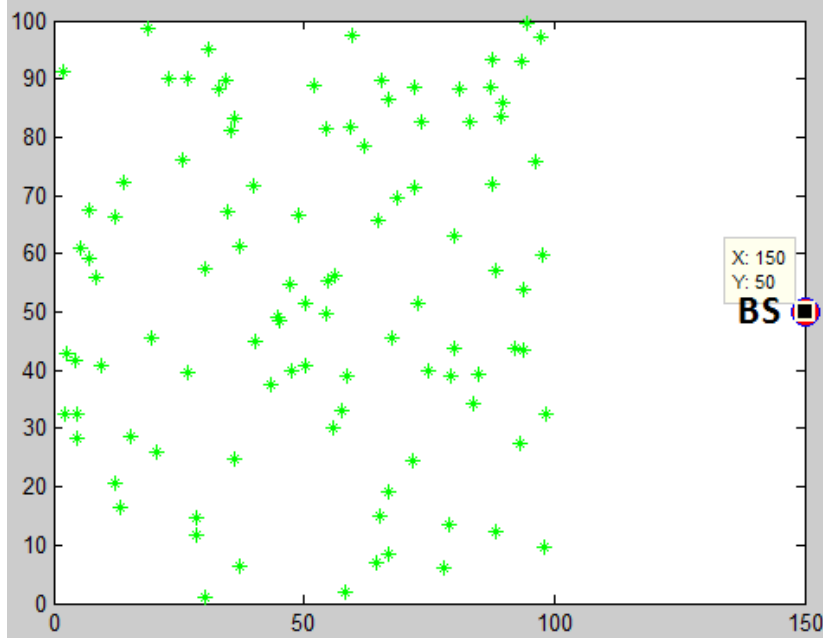
• **عدد العقد الحية Number of Alive Nodes**: هو عدد الحساسات التي لم تفقد كامل طاقتها .

• **عدد العقد الميتة Number of Dead Nodes**: هو عدد الحساسات التي فقدت كامل طاقتها وأصبحت

غير قادرة على القيام بالوظيفة المنوطة بها.

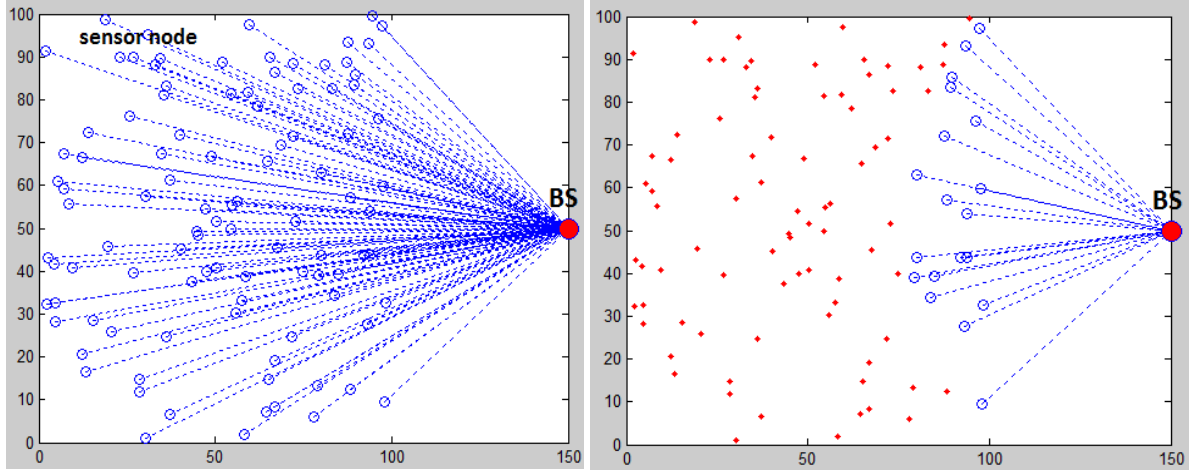
## النتائج و المناقشة :

يوضح الشكل (8) أماكن توزع العقد العادية والمحطة القاعدية BS في الشبكة ، حيث تُمثل العقد العادية بنجمة والمحطة القاعدية بدائرة كبيرة ممثلة.



الشكل (8): اماكن توزع العقد العادية والمحطة في الشبكة

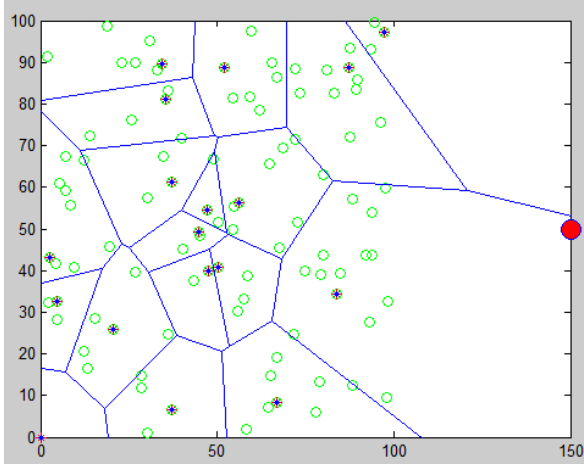
الحالة الاولى: قمنا بداية بتطبيق ثلاث بروتوكولات توجيه هي DT و LEACH و TEEN على نموذج لشبكة WSN المتجانسة الممثل بالشكل (8) والذي تملك فيه العقد طاقة متماثلة مقدارها 0.5 جول، يظهر الشكل (9) نقل البيانات من العقد الى المحطة باستخدام DT بينما يظهر الشكل (10) العقد التي نفذت كامل طاقتها (ممثلة بدائرة صغيرة ممتلئة) والعقد التي ماتزال حية (ممثلة بدائرة صغيرة فارغة) وذلك بعد مرور 1000 دورة من عمر الشبكة .



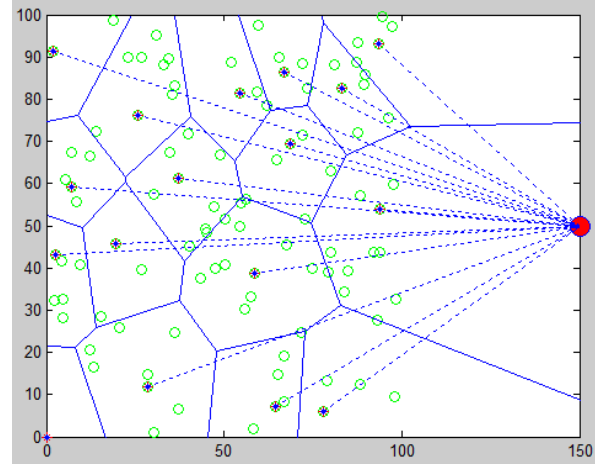
الشكل (9) : سيناريو نقل البيانات مباشرة من العقد الى المحطة

الشكل (10): العقد الحية والميتة بعد مرور 1000 دورة

كما ويظهر الشكل (11) تجميع عقد الشبكة في عناقيد عند تطبيق البروتوكول LEACH في احدى الدورات بينما يظهر الشكل (12) قيام رؤوس العناقيد بنقل البيانات التي قامت بتجميعها الى المحطة القاعدية .

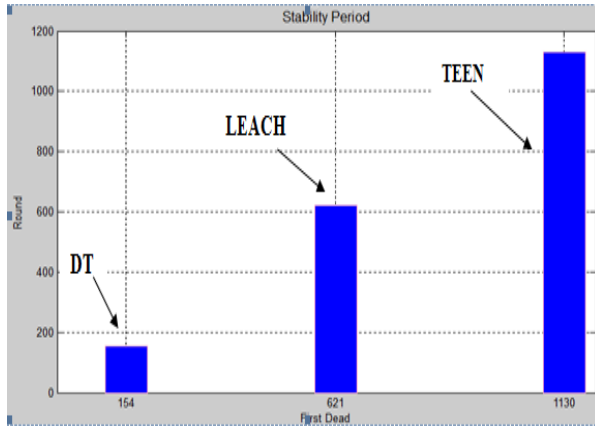


الشكل (11): تجميع العقد في عناقيد باستخدام LEACH



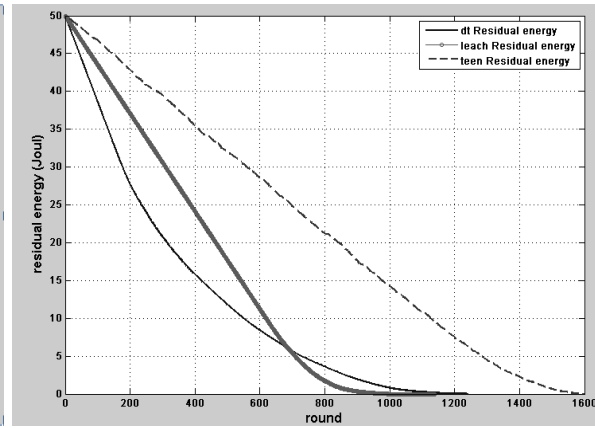
الشكل(12):نقل البيانات من الرؤوس الى BS باستخدام LEACH

بعد تنفيذ المحاكاة تبين ان البروتوكول DT يعطي أصغر فترة استقرار، حيث فقدت أول عقدة كامل طاقتها في الدورة 154، يليه البروتوكول LEACH الذي زاد من طول فترة الاستقرار بشكل كبير حيث فقدت أول عقدة كامل طاقتها في الدورة 621، بينما قدم البروتوكول TEEN الأداء الأفضل حيث قدم أطول فترة الاستقرار إذ أن موت أول عقدة فيه كانت في الدورة 1130. يوضح الشكل(13) طول فترة الاستقرار عند استخدام كل بروتوكول والشكل (14) الطاقة المتبقية في كامل الشبكة في كل دورة من عمر الشبكة.



الشكل(13): طول فترة الاستقرار عند استخدام كل من البروتوكولات

DT , LEACH, TEEN

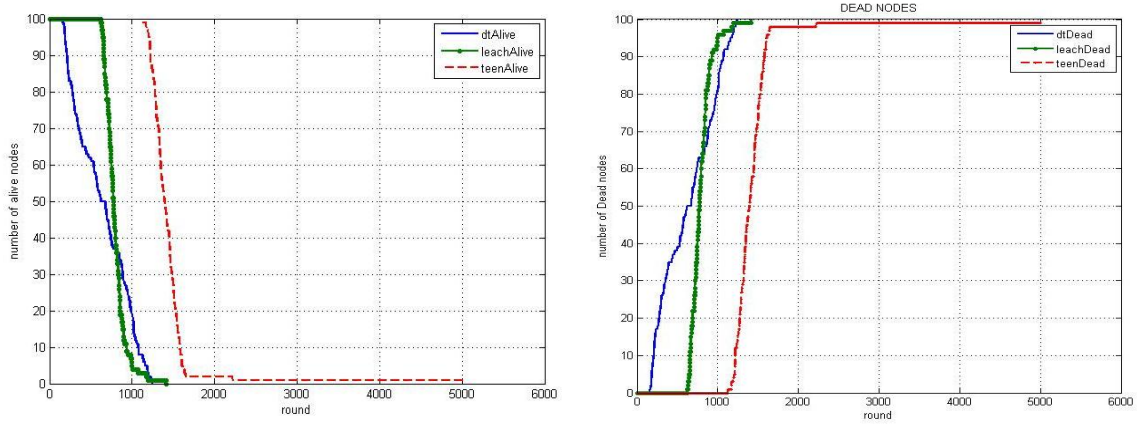


الشكل (14): الطاقة المتبقية في كامل الشبكة في كل دورة من

عمر الشبكة من اجل كل بروتوكول

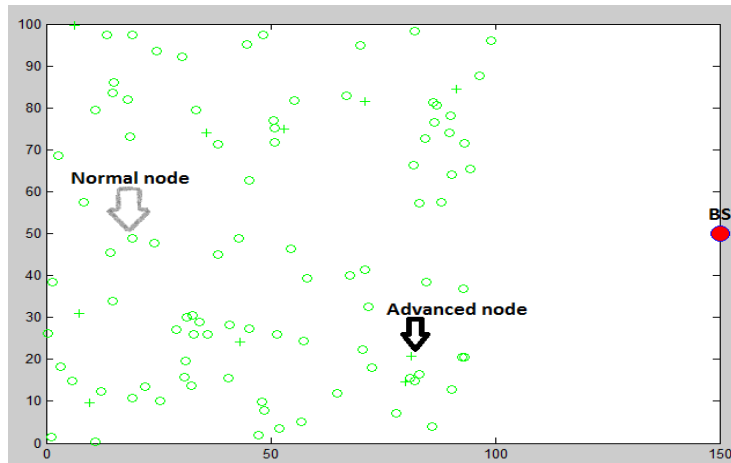
كما ويظهر الشكلان (15) و(16) عدد العقد الحية والميتة من أجل كل بروتوكول حيث تظهر الأشكال تفوق البروتوكول TEEN على كلا البروتوكولين.





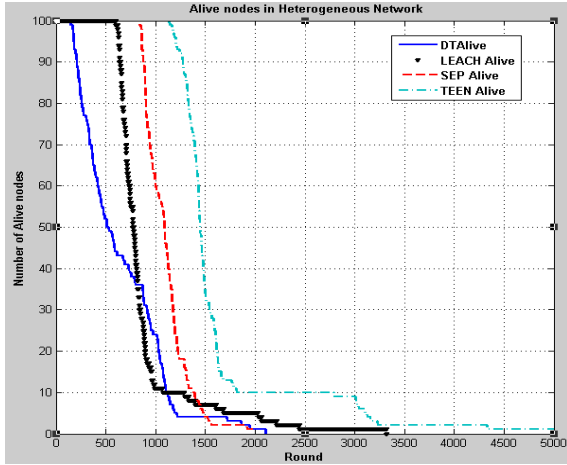
الشكل(16): عدد العقد الميتة في كل دورة من اجل كل بروتوكول الشكل(15): عدد العقد الحية في كل دورة من اجل كل بروتوكول

**الحالة الثانية:** قمنا ببناء نموذج جديد لشبكة WSN وأضفنا طاقة ابتدائية مقدارها 0.5 جول الى عشرة عقد موزعة عشوائياً على امتداد الحقل المراقب ، ومن ثم درسنا كيفية تأثر البروتوكولات DT,LEACH,SEP,TEEN بهذه الاضافة . يوضح الشكل (17) أماكن توزيع العقد العادية (دائرة ) والمتقدمة (+) والمحطة القاعدية BS في الشبكة .

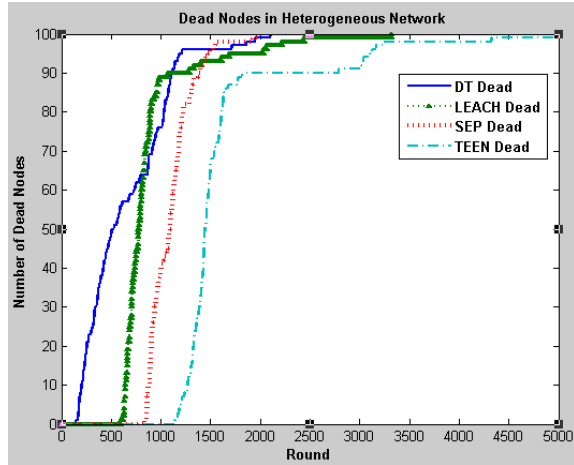


الشكل (17): أماكن توزيع العقد العادية (دائرة فارغة) والمتقدمة (+) والمحطة القاعدية BS في الشبكة

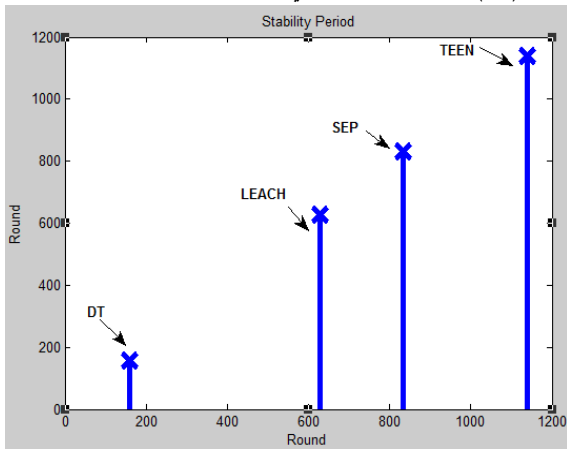
تظهر الأشكال (18,19,20,21) أن البروتوكول SEP أعطى فترة استقرار أكبر وحافظ على حياة عدد أكبر من العقد مقارنة بالبروتوكولين LEACH و DT بينما استمر البروتوكول TEEN بإعطاء أفضل النتائج.



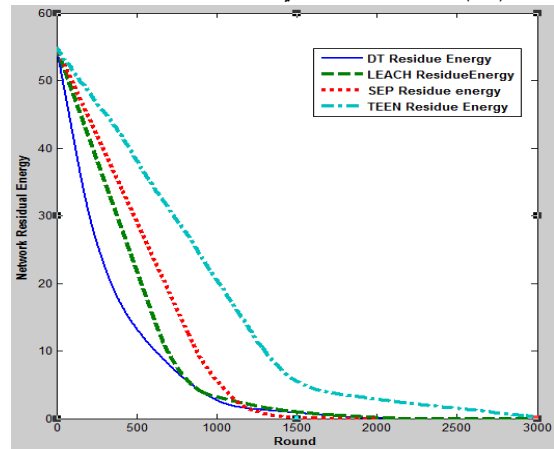
الشكل (18): عدد العقد الحية في كل دورة من اجل كل بروتوكول



الشكل (19): عدد العقد الميتة في كل دورة من اجل كل بروتوكول

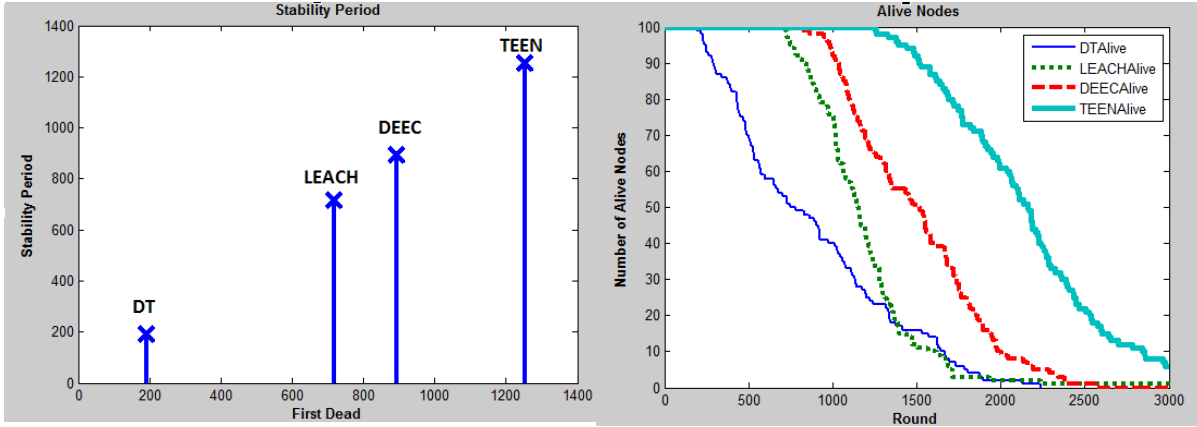


الشكل (20): طول فترة الاستقرار عند استخدام البروتوكولات DT, LEACH, SEP, TEEN في الحالة الثانية



الشكل (21): الطاقة المتبقية في كامل الشبكة في كل دورة من عمر الشبكة من اجل كل بروتوكول في الحالة الثانية

**الحالة الثالثة:** قمنا ببناء نموذج جديد تتراوح الطاقة الابتدائية لكل عقدة فيه بين 0.5 و 1 جول، ودرسنا أداء البروتوكولات DT, LEACH, DEEC, TEEN في ظل هذا الاختلاف. بينت النتائج الموضحة بالأشكال (22,23) أن البروتوكول DEEC أعطى فترة استقرار أكبر وحافظ على حياة عدد أكبر من العقد مقارنة بالبروتوكولين LEACH و DT ، بينما استمر البروتوكول TEEN بإعطاء أفضل النتائج بالرغم من أنه لا يأخذ موضوع الطاقة الابتدائية بعين الاعتبار. يلخص الجدول (3) طول فترة الاستقرار في كل من الحالات المدروسة مقدرة بالدورة.



الشكل(22): طول فترة الاستقرار عند استخدام البروتوكولات DT, LEACH, DEEC, TEEN في الحالة الثالثة

الشكل(23) : عدد العقد الحية في كل دورة من اجل البروتوكولات DT, LEACH, DEEC, TEEN في الحالة الثالثة

الجدول (3) : طول فترة الاستقرار في كل من الحالات المدروسة

Stability Period	DT	LEACH	SEP	DEEC	TEEN
الحالة الاولى	153	620	-----	-----	1129
الحالة الثانية	158	628	833	-----	1139
الحالة الثالثة	192	719	-----	895	1253

### الاستنتاجات والتوصيات :

- استناداً الى الاشكال (13) و (20) و (22) فإننا نلاحظ أن البروتوكولات الهرمية تقدم حلاً لموضوع القيود المفروضة على الطاقة في شبكات WSN، حيث أنها تقوم بإطالة فترة عمل الشبكة وزيادة فترة الاستقرار فيها، مما يزيد من وثوقية النتائج التي يتم الحصول عليها من الحقل وذلك في شبكات WSN المتجانسة والمتباينة.
- يتفوق البروتوكول SEP على البروتوكولين DT و LEACH في حال تم تزويد بعض العقد بطاقة اضافية بغرض إطالة عمر الشبكة وذلك في تطبيقات المراقبة الدورية، حيث نلاحظ من الجدول (3) ان البروتوكول SEP يقدم فترة استقرار اكبر من البروتوكولين الآخرين والذين لم تتأثر نتائجهما الا بشكل طفيف بالطاقة المضافة للشبكة .
- يتفوق البروتوكول DEEC على البروتوكولين DT و LEACH في حال اختلفت الطاقة الابتدائية للحساسات في الشبكة وذلك في تطبيقات المراقبة الدورية، حيث نلاحظ من الجدول (3) ان البروتوكول DEEC يقدم فترة استقرار اكبر من البروتوكولين الآخرين.
- يتفوق البروتوكول TEEN على جميع البروتوكولات المدروسة في جميع الحالات كما يظهر في الاشكال (13) و (20) و (22)، ولكن لا يمكن استخدامه إلا في تطبيقات اكتشاف الحدث ، لذلك يوصى باستخدامه في حال كان التطبيق الذي يستخدم WSN من هذا النوع.

## المراجع:

- [1] Akyildiz, I.F.; Su, W.; Sank, Y.; Cayirci, E. *Wireless sensor networks: A survey*. Computer Network. 2002,38, 393–422.
- [2] Al-Karaki, J.N.; Kamal, A.E. *Routing techniques in wireless sensor networks: A survey*. IEEE Wirel. Commun. 2004, 11, 6–28.
- [3] Heinzelman, W. B.; Chandrakasan A. P.; Balakrishnan H. *An applicationspecific protocol architecture for wireless microsensor networks* . IEEE Trans on Wireless Communications, Vol. 1, No. 4, 2002, 660-670.
- [4] Smaragdakis, I.G.; Matta, A.; Bestavros, k. *SEP: A Stable Election Protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks*. Second International Workshop on Sensor and Actor Network Protocols and Applications (SANPA 2004), 2004.
- [5] Qing, L.; Qingxin, Z.; Mingwen, W. *Design of a distributed energy-efficient clustering algorithm for heterogeneous wireless sensor networks* . Computer Communications 2006, 2230–2237.
- [6] Manjeshwar, A.; Agrawal, D. P. *TEEN: A Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Network* .1st international Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing, 2001, 189.
- [7] Rappaport, T.S. *Wireless Communications: Principles and Practice*. 2<sup>nd</sup>.ed., New Jersey: Prentice Hall, PTR, 2001.
- [8] Xia, H.; Bertoni, H.L. and Maciel, L.R. *Radio propagation characteristics for line-of-sight micro cellular and personal communications* . Antenna and Propagation, vol.41, no.10, 1993, 1439–1447.