

Improvement Energy Consumption in Fault-tolerant Large-Scale Wireless Sensor Networks: DECROP protocol

Dr. Mothanna ALKUBEILY^{*}
Lamis Hassan^{**}

(Received 4 / 11 / 2019. Accepted 21 / 5 / 2020)

□ ABSTRACT □

Large scale wireless sensor networks (LS-WSNs) are composed of thousands of sensors, scattered over a wide area, generating a great amount of sensing readings that must be carefully processed to effectively manage the use of available resources. Unlike small scale WSNs, replacing a LS-WSN costs money, time and efforts and in many times the replacement is unfeasible. Thus, the need of robust fault tolerant solutions becomes an obligation in particular in new WSN applications such as military applications, to monitor borders or battle fields, and the underwater surveillance to prevent disasters, monitor pollution, *etc.* There are several routing protocols, designed for L-WSNs, implement fault tolerance mechanisms to recover it from a failure. DECROP has a simple and efficient structure that makes it desirable as a fast response technique and reduces control messages (overhead). But it suffers from the rapid energy depletion because of its tree structure and irregular clusters. In this research, we propose using the Generic Top-Down cluster and cluster-tree formation (GTC) algorithm in clusters formation phase into DECROP Protocol. The simulation results showed a marked improvement in the performance of the improved protocol in terms of power consumption and network life time while maintaining the basic DECROP features.

Keywords: Fault tolerance, Large Scale Wireless Sensor Networks, Clustering, Routing Protocol.

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

^{**} Master Student, Department of Communication and Electronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

تحسين استهلاك الطاقة في شبكات الحساسات اللاسلكية واسعة النطاق متسامحة

العطل: البروتوكول DECROP

د. مثنى القبيلي *

لميس حسن**

(تاريخ الإيداع 4 / 11 / 2019. قُبِلَ للنشر في 21 / 5 / 2020)

□ ملخص □

تتكون شبكات الحساسات اللاسلكية واسعة النطاق LS-WSNs من آلاف العقد المنتشرة عبر مساحة جغرافية واسعة منتجة كمية كبيرة من القراءات المتحسسة التي يجب معالجتها بحرص لإدارة الموارد المتوفرة بفعالية. على عكس شبكات الحساسات اللاسلكية ضيقة النطاق SS-WSNs، يكلف استبدال شبكة الحساسات اللاسلكية واسعة النطاق LS-WSNs مالياً وجهداً ووقتاً وفي كثير من الأحيان يكون الاستبدال غير مجد. لذا تصبح الحاجة لطول سماحية عطل متينة واجياً على وجه الخصوص في تطبيقات WSN الجديدة مثل التطبيقات العسكرية، مراقبة الحدود وأرض المعركة. وتطبيقات المراقبة تحت الماء لمنع الكوارث وفحص التلوث... الخ. قدمت العديد من بروتوكولات التوجيه حلولاً لسماحية العطل في شبكات الحساسات اللاسلكية واسعة النطاق، ويمتاز البروتوكول DECROP ببنية البسيطة والفعالة التي تجعله مرغوباً كتقنية سماحية عطل من حيث الاستجابة السريعة وتخفيض عدد رسائل التحكم (الحمل)، ولكنه يعاني من عيب أساسي يتمثل بنفاذ الطاقة السريع الناتج عن شكل بنيته الشجرية وحجم العناقيد غير المنتظم. نقترح في هذا البحث استخدام خوارزمية GTC في مرحلة تشكيل العناقيد ضمن البروتوكول DECROP. أظهرت نتائج المحاكاة تحسناً ملحوظاً في أداء البروتوكول المحسن من حيث استهلاك الطاقة وزمن حياة الشبكة مع المحافظة على مميزات DECROP الأساسية.

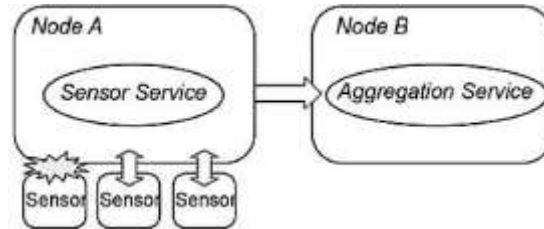
الكلمات المفتاحية: سماحية العطل، شبكات الحساسات اللاسلكية واسعة النطاق، العنقدة، بروتوكول التوجيه.

* أستاذ مساعد، قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات ، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية سورية.
** طالبة دراسات عليا (ماجستير)، قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية سورية.

مقدمة:

جذبت شبكات الحساسات اللاسلكية (WSNS) Wireless Sensors Networks الكثير من الاهتمام في السنوات الأخيرة [1-6]. تتألف هذه الشبكات من عدد كبير من الحساسات رخيصة الثمن وصغيرة الحجم، والتي تُنشر في مجالات متعددة (عسكرية، زراعية، صناعية، فضاء، بيئة، .. الخ). يواجه هذا النشر تحديات جديدة نظراً للقيود التي تعاني منها هذه الحساسات (حجم صغير، بطارية محدودة، ذاكرة محدودة، .. الخ). تظهر العديد من المشاكل بسبب نفاذ طاقة البطارية وصعوبة استبدالها أو إعادة شحنها، وتلعب البيئة المعادية التي تنشر فيها WSNS دوراً كبيراً في فشل بعض المكونات، وحتى كامل الشبكة. تزيد كل هذه المشاكل الحاجة إلى تأمين بعض التقنيات التي تسد هذه الثغرات وتساعد WSNS على أداء مهامها المتوقعة، حتى مع وجود العطل، لتحسين سماحية العطل.

من المهم جداً الإشارة إلى الاختلاف بين (العطل، الفشل، والخطأ) [7-9]، حيث عُرِفَ العطل **Fault**: كأى نوع من الآثار التي تؤدي إلى الخطأ **Error**، والذي يعبر عن أية حالة غير معروفة أو غير صحيحة للنظام، مما يقود إلى الفشل **Failure** وهو الحالة الظاهرة والبائنة لما يسمى بالخطأ، والتي تحصل عندما ينحرف النظام عن خصائصه وميزاته المعهودة ولا يعود بمقدوره تنفيذ المهمة الموكلة إليه. يوضح الشكل (1) مفهوم العطل في هذه الشبكات حيث يتبين لدينا من الشكل أن العقدة A هي المسؤولة عن الإرسال الدوري لقياسات الحساسات الموجودة لديها إلى العقدة B التي تكون بدورها مسؤولة عن تجميع البيانات. في حال تعرضت العقدة A لتأثير ما لا على التعيين سبب على إثره انقطاع الاتصال بين تلك العقدة وأحد الحساسات، وفي حال لم تكن العقدة A معدة مسبقاً لاكتشاف مثل هذه الأعطال وتجاوز مثل هذه الحالات، سيتم الحصول على الحالة الخاطئة (Erroneous state) في حال أرادت عقدة التحسس الحصول على بيانات من ذلك الحساس. وكنتيجة لمثل هذه الحالة لن تتمكن عقدة التحسس من إرسال بيانات الحساس إلى عقدة التجميع خلال الحيز الزمني المتاح لها، وهذا ما يستدعي من العقدة B تعريف حالة التعطل التي أصبحت عليها العقدة A. وفقاً للمناقشة المذكورة فإن العطل هو فقدان الاتصال مع الحساس، والخطأ هو حالة الخدمة بعد محاولة قراءة بيانات الحساس، ويحدث الفشل في حال لم يتمكن التطبيق من تسليم قراءات الحساس ضمن الحيز الزمني المخصص له. تصنف الأعطال في شبكات الحساسات اللاسلكية إلى ثلاثة مصادر أساسية [10]، عطل العقدة، عطل الشبكة، وعطل ال Sink . ينتج فشل العقدة عن قصور في العتاد الصلب (وحدة الحساس، وحدة المعالجة المركزية CPU ، الذاكرة، واجهة الشبكة، .. الخ) أو البرامج (التوجيه، MAC، والتطبيق). بالنسبة لعطل الشبكة، تتطلب تطبيقات WSNS تجميع المعطيات من العقد وتوجيهها نحو العقدة المركزية Sink. قد تعاق هذه المهمة بواسطة بعض الأعطال في بعض الوصلات أو المسارات (توجيه).



الشكل (1): مفهوم العطل في WSN [7,8]

تعد العقدة المركزية Sink مكوناً أساسياً في شبكات WSNS، لأن عطله يؤدي إلى عطل كامل الشبكة في حال لم تُطبّق تقنية سماحية عطل تجابه الفشل. كما في حالة العقدة العادية، قد تحدث الأعطال في العتاد الصلب أو البرامج. ولكن على عكس العقدة لا يعاني ال Sink من قيود الطاقة.

يوجد العديد من التصنيفات لتقنيات سماحية العطل إلا أن المرجع [1] صنفها تصنيفاً جديداً يتبع إلى حجم الشبكة. حيث يختلف أداء تقنيات سماحية العطل في الشبكات ضيقة النطاق عنه في الشبكات واسعة النطاق وذلك لاختلاف خصائص كل منها. نشير بالذكر هنا إلى أن الشبكات واسعة النطاق هي الشبكات التي تغطي مساحة جغرافية واسعة بدءاً من $1000m^2$ و تندرج في قسمين شبكات كثيفة Dense و شبكات ممتدة Spare [11].

أهمية البحث وأهدافه:

يمكن تقييم أداء تقنية سماحية العطل عبر عدة بارامترات. من أهم هذه البارامترات هي البارامترات المتعلقة مباشرة بالتعقيد والحمل الزائد للآلية أثناء إنجازها. إذا أخذنا مواصفات محددة ل WSNS بالحسبان [11-14]، يؤثر تعقيد الآلية بشكل كبير على الموارد المتاحة أي الذاكرة، المعالج، عرض الحزمة،.. الخ، لذلك فإن التقنية الأقل تعقيداً هي الطريقة الأفضل [1]. على العكس، فإن التقنية المعقدة والمستهلكة للموارد غير مرغوبة حتى لو قدمت درجة عالية من سماحية العطل [15-19].

على عكس شبكات الحساسات اللاسلكية ضيقة النطاق (SS-) Small Scale Wireless Sensor Networks (WSNs)، يكلف استبدال شبكة Large Scale Wireless Sensors Networks (LS-WSNs) مالياً وقتاً وفي كثير من الأحيان يكون الاستبدال غير مجد. لذلك من الضروري إيجاد حلول لزيادة سماحية العطل في شبكات الحساسات اللاسلكية واسعة النطاق.

لم يعالج المرجع [1] الشبكات من حيث الكثافة بل من حيث الحجم فقط، ويجب أن نعلم أن كثافة العقد تؤثر على سماحية العطل بشكل كبير إذ أن الشبكة ذات عدد العقد الأكبر تمتلك احتمالية سماحية عطل أعلى لذلك لا يجب إهمال كثافة العقد في الشبكة إذ أنها تؤثر بشكل كبير على الاتصالية و التغطية و سماحية العطل [11-14]. عادة تكون الشبكات ضيقة النطاق كثيفة [20,21] بينما نجد في الشبكات واسعة النطاق شبكات كثيفة وأخرى متناثرة وذلك تبعاً للتطبيق. تناولت قلة من الأبحاث الشبكات المتناثرة كما أنها الأكثر استخداماً حتى الآن نظراً لكونها الأقل تكلفة و الأكثر عملية. لذلك سنركز الدراسة عليها في هذا البحث.

يعد البروتوكول Distributed and Effective Cluster Routing Protocol (DECROP) [22] أحد البروتوكولات الأساسية في شبكات الحساسات اللاسلكية واسعة النطاق متسامحة العطل كما أنه يخفض استهلاكه لموارد الشبكة من خلال اعتماده منهجية أكثر بساطة وفعالية تتمثل بتأسيسه للمسارات نحو ال BS في مرحلة التهيئة مما يجعل استجابته أسرع وحمولته أقل. ولكن بالمقابل يعاني من نقطة ضعف كبيرة ناتجة عن شكل بنيته الشجرية التي تسبب استهلاك الطاقة. يهدف هذا البحث إلى تحسين استهلاك الطاقة في البروتوكول DECROP من خلال اعتماد منهجية عنقدة مختلفة مع المحافظة على مميزاته القيمة من فعالية وسرعة وحمولة منخفضة.

طرائق البحث ومواده:

نُفذت الدراسة على 30 عقدة حساس متجانسة منتشرة في شبكة حساسات لاسلكية واسعة النطاق متناثرة متصلة connected [12]. تأكدنا من اتصالية العقد فيما بينها من خلال برنامج NS2 Senarios Generators (NS2) [23]. قمنا بنمذجة البروتوكول DECROP في NS2 وتأكدنا من صحة النموذج بمقارنة النتائج مع البروتوكول AODV بسبب تقارب نتائجهما [22]. وتمت الدراسة على سيناريوهات مختلفة للعقدة الأولى بعنقودين، والثاني بثلاثة عنقايد، والثالث بخمسة عنقايد وفق منهجيتين مختلفتين للعقدة [6].

تم تشغيل المحاكاة بواسطة NS2.35 [24]، وقد جمعنا النتائج عن طريق تطبيق APP_Tool_Master المستخدم في التحليل المباشر لملفات الملاحقة trace files الناتجة عن نصوص برنامج المحاكاة NS2 tcl scripts [25].

1. بروتوكول التوجيه العنقودي الفعال والموزع في شبكات الحساسات اللاسلكية A Distributed and Effective Cluster Routing Protocol of Sensor Networks (DECROP)

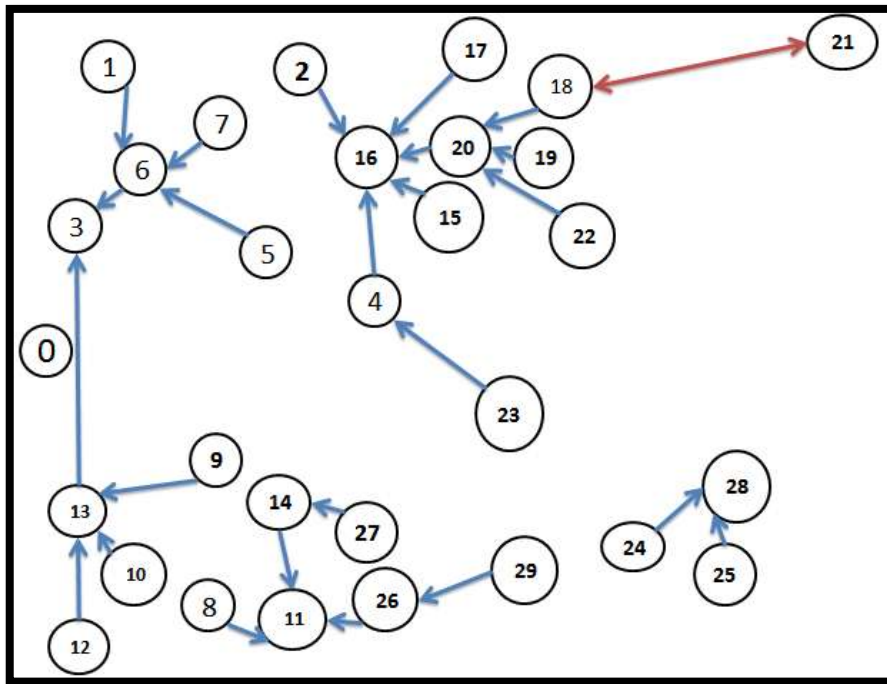
تم اقتراح [22] (DECROP)، كبروتوكول توجيه فعال وبسيط يهدف إلى تخفيض عدد رسائل التحكم وتأخير نهاية إلى نهاية. تتبع هذه الخوارزمية ثلاث خطوات: تهيئة وعقدة، إرسال المعطيات، وأخيراً صيانة المسار.

في الخطوة الأولى، تبث المحطة القاعدية Base station BS رسالة تهيئة. عندما تستقبل عقدة هذه الرسالة للمرة الأولى، تعتبر المرسل القفزة السابقة pre-hop وتبث الرسالة مع معرفها ID. تعتبر كل عقدة downstream بالنسبة لعقدة pre-hop الخاصة بها. تستمر العملية حتى تعلم كل عقدة عقد القفزة السابقة الخاصة بها ويتم تشكيل الشجرة حيث تكون المحطة القاعدية هي الجذر. خلال هذه المرحلة يجمع كل حساس معلومات جواره، إذا وصل عدد جيران الحساس إلى قيمة محددة مسبقاً، يصبح الحساس قائد عنقود ويبث رسالة تصريح. تتضمن عقد القفزة الواحدة إلى العنقود بإرسال رسالة طلب ويستخدم الجيران على بعد قفرتين الجيران على بعد قفزة واحدة لتسليم رسائل طلبهم، ولا تتضمن العقد المعزولة لأي عنقود.

خلال الخطوة الثانية، يرسل أعضاء كل عنقود قراءتهم إلى قائد العنقود الذي يجمعها ويوسم الرزمة بمعرفه ID، وترسل الرزمة الموسومة إلى عقدة الـ pre-hop لقائد العنقود. سيتم تخزين مسار الرزمة المقطوع لمساعدة رزم التوجيه من المحطة القاعدية نحو الأهداف. ترسل العقد المعزولة معطياتها مباشرة إلى عقد pre-hop الخاصة بها. عندما تصل المعطيات إلى قائد عنقود، تُضمّن العقدة في هذا العنقود.

إذا فشلت بعض الوصلات، تبث عقدة الـ downstream رسالة خطأ مع unreachable pre-hop ID وعدد قفزاتها باتجاه الـ BS. تستقبل إحدى العقد رسالة الخطأ وتأخذ دور الـ pre-hop إذا كانت العقدة المتعطلة ليست الـ pre-hop الخاص بها وعدد قفزاتها أقل من العقدة المضمنة في رسالة الخطأ.

فائدة DECROP الرئيسية أن كل المسارات تتشكل في مرحلة التهيئة مما يخفض عدد رسائل التحكم. كما أن عدد العناقيد يخفض من خلال تضمين العقد على بعد قفزة وقفرتين. يسمح DECROP بفشل عقدة pre-hop من خلال انقضاء واحدة جديدة. كما أن تشكيل العناقيد والمسارات مقدماً في مرحلة التهيئة يساعد على توفير الزمن اللازم لاكتشاف المسار نحو الـ BS مما يعطيه سرعة استجابة عالية. لكن يمكن ملاحظة سيئتين لهذه الآلية: تتمثل الأولى بأن استهلاك الطاقة يزداد بازدياد حجم العنقود كما أن تفاوت حجم العناقيد يؤدي إلى عدم توازن استهلاك الطاقة، أما الثانية فهي اعتماد بنية شجرية تؤدي إلى نفاذ طاقة العقد الأقرب إلى الـ BS مما يؤدي إلى تشكيل مناطق ساخنة في جوار الـ BS وهذا ما يقلل زمن حياة الشبكة [1,14].



الشكل(2): عملية تشكيل العنقود الموزع [14,22]

كما يبدو في الشكل (2)، العقد 3، 16، 11 و 28 هي قادة عنقود. العقد 6، 13.. الخ أعضاء على بعد قفزة واحدة. 1، 12.. الخ أعضاء على بعد قفزتين. تتضمن العقدة 12 إلى العنقود عبر عقدة الإبدال 13. العقدة 21 بعيدة جداً عن 16 أي عقدة معزولة (تبعد أكثر من قفزتين). لذا لا تتضمن في مرحلة تشكيل العناقيد وإنما في مرحلة إرسال المعطيات.

2. التعديل المقترح على مرحلة تشكيل العناقيد في بروتوكول DECROP:

2-1. فكرة التعديل:

معظم بروتوكولات التوجيه في شبكات الحساسات اللاسلكية واسعة النطاق تعالج إما الحمولة الزائدة أو استهلاك الطاقة [14]. كما وجدنا في القسم السابق يعالج DECROP مسألة الحمولة الزائدة، ولكنه يعاني ضعف في استهلاك الطاقة السريع الناتج عن بنيته الشجرية التي تتشكل في مرحلة التهيئة.

نقترح استخدام خوارزمية العنقدة الهرمية من الأعلى للأدنى العامة Generic Top-Down Cluster and Cluster tree formation (GTC) [6] في مرحلة تأسيس العناقيد ضمن البروتوكول DECROP عوضاً عن منهجية العنقدة المتبعة في البروتوكول الأصلي (منهجية من الأدنى إلى الأعلى). نورد تالياً أسباب اختيار هذه الخوارزمية ومراحلها الأساسية.

2-2. مبررات الاقتراح:

إن التطبيقات التي تنتشر على مساحة واسعة و/أو تدعم جمع المعطيات مرشح أساسي للتشكيل المعتمد على العنقود [7]. إن العنقدة مفيدة بشكل خاص في تطبيقات الحساسات التعاونية التي تنجز مهام مختلفة وتنتشر في نفس المنطقة الفيزيائية. يمكن تشكيل شجرة عنقود باستخدام إحدى المنهجين الآتيتين: منهجية تشكيل شجرة عنقودية من الأعلى للأدنى top-down أو منهجية تشكيل شجرة عنقودية من الأدنى للأعلى bottom-up.

في منهجية الأعلى للأدنى top-down، تشكل عقدة الجذر عنقودها الخاص أولاً، ثم تختار بعضاً من جيرانها كقادة عنقود CHS لتشكيل عنقودهم الخاصة. التي بدورها تختار بعض جيرانها لتشكيل المستوى التالي من العناقيد وتستمر

العملية حتى تغطية كامل مجال الدراسة. تستمر عملية ملاحقة علاقة (أب- ابن) بين الـ CHs وتضمن اتصال قادة العناقيد الجديدة المختارة كأبناء من بين جيران CHs الحاليين. تتبع شجرة عنقود المعيار IEEE802.15.4 هذا المبدأ [26]. في منهجية الأدنى للأعلى Bottom-up تتشكل قادة عنقايد فردية بشكل مستقل وتجمع فيما بعد مع بعضها البعض لتشكيل بنية مستوى أعلى. تزداد المسافة الفيزيائية بين مستويات قادة العناقيد CHs المتجاورة كلما ارتفعنا بالهرمية. لذلك يصبح مستوى قادة العناقيد الأعلى مناطق ساخنة hotspots لأنه يتوجب أن تربط الحركية من الطبقات الأدنى وتتطلب مستويات قدرة إرسال أعلى. يسيطر عدم توازن القدرة في العناقيد المتشكلة بسبب تشكيل العديد من العناقيد الأصغر القريبة من الـ Sink و جعلها أكبر كلما ازدادت المسافة نحو الـ Sink.

في جميع الأحوال تصبح العناقيد ضخمة بشكل اعتباطي كلما ابتعدت عن الـ Sink كما في DECROP [1,14,22]. لذلك لا تستطيع هذه المخططات ضمان ارتباط قائد عنقود بقائد عنقود CH to CH في الشبكات الواسعة جغرافياً لأن المسافة بين العناقيد غير محدودة.

على الرغم من ظهور منهجية أدنى-لأعلى، بشكل أساسي لتكون بسيطة نسبياً، إلا أنها تتضمن حمولة اتصالات زائدة لبناء شجرة عنقود وتؤمن تحكماً قليلاً جداً أو شبه معدوم بالعمق وعرض الشجرة. بينما تؤمن منهجية أعلى-للدنى تحكماً أفضل أثناء تشكيل العناقيد والشجرة العنقودية.

نقترح استخدام خوارزمية تشكيل شجرة عنقود وعنقود من أعلى لأدنى العامة GTC. تسمح بارامترات الخوارزمية بتغيير خصائص الشجرة والعنقود. على سبيل المثال، شجرة ب عرض/عمق قابل للتحكم، بينما تحقق عنقايد دائرية وموحدة أكثر مما يساعد على توازن استهلاك الطاقة بين العناقيد.

2-3. خوارزمية العنقدة من الأعلى للأدنى العامة GTC:

2-3-1. تشكيل العنقود و شجرة العنقود:

تبدأ عقدة الجذر (أحد عقد الحساسات أو محطة قاعدة مصدرية) عملية تشكيل العنقود من خلال إرسال بث عام يشير إلى اهتمامها بتشكيل عنقود. تصبح العقد التي سمعت البث أعضاء ضمن العنقود من خلال إرسال إشعار استلام Ack إلى عقدة الجذر. تعتمد تغطية العنقود على كون العنقود المشكل متعدد أو وحيد القفزة من خلال توجيه البث العام عبر الجيران. يستخدم بارامتر عدد القفزات الأعظمي $hops_{max}$ لتأمين حد لعدد القفزات بين عضو في العنقود وقائد العنقود. بعد استقبال إشعارات الاستلام Acks من الجيران، تختار عقدة الجذر عدة قادة عنقايد كأبناء لها من مجموعة من العقد القريبة إلى حدود العنقود.

يمكن أن يخفض التراكم بين العناقيد من خلال انتقاء قادة العناقيد الأبناء من العقد التي تقع خارج حدود العنقود. كما يمكن اكتشاف العقد خارج العنقود من خلال البث العام إلى ما بعد الـ hop_{max} و يمكن حد مسافة البث باستخدام بارامتر TTL_{max} ($TTL_{max} \geq hop_{max}$). تطلب عقدة الجذر بعد ذلك من قادة العناقيد الأبناء المختارين تشكيل عنقايدهم الخاصة من خلال إرسال رسالة بث أحادي (unicast) إلى كل منهم. تشكل قادة العناقيد الجديدة عنقايدها الخاصة ومن ثم تختار المجموعة التالية من قادة العناقيد الأبناء وتستمر العملية. أثناء ذلك، تتشكل شجرة العنقود من خلال مواصلة ملاحقة قائد العنقود لقائد العنقود الأب والابن الخاص به، وتستمر الخوارزمية حتى تتشكل كل العناقيد الممكنة.

لا تتضمن العقد الوسيطة بين قفزات ($hops_{max}, TTL_{max}$) إلى العنقود، عوضاً عن ذلك تساعد على توجيه البث العام بعيداً. لا ترسل أية إشعارات استلام Acks. يتم توجيه بث عام من قبل قائد عنقود محدد مرة واحدة فقط بواسطة

عقدة مستقبلية. لذا يُوجّه كل البث العام نحو الخارج بعيداً عن قائد العنقود، وعندما يصل البث العام إلى آخر قفزة (مثلاً تنتهي TTL) تمتلك العقد المستقبلية للبث الإمكانية لأن تُختار كقادة عنقود جدد.

تسمى عقد كهذه بـ قائد عنقود مرشح Candidate Cluster Head (CCH). في هذه المرحلة، تكون عقد CCH إما على حافة العنقود إذا كانت $(TTL_{max} = hops_{max})$ أو خارج العنقود $(TTL_{max} > hops_{max})$. من خلال الاستماع إلى الإرسالات من الجيران، يمكن أن تقل احتمالية اختيار عقد قريبة كـ CCHs.

عند استلام الطلبات، تشكل CCHs المختارة عنقودها الخاصة. ثم تختار قادة العناقيد هذه المجموعة التالية من قادة العناقيد الأبناء وتستمر العملية. تواصل شجرة العنقود المتجذر عند عقدة الجذر والمشكلة بوساطة كل قائد عنقود ملاحقة قادة العناقيد الآباء والأبناء. إذا كان أحد CCH المختارة غير قادر على جذب أية عقد أبناء، لا يُشكّل العنقود والفرع المتعلق به في شجرة العنقود لا يُوسّع أكثر من ذلك. يتم استمرار الخوارزمية حتى تتوسع كل الأفرع الممكنة.

2-3-2. التحكم بخصائص العنقود وشجرة العنقود:

يمكن أن تحقق خوارزمية GTC مدى واسع من الطول من خلال تغيير تطبيق بعض التوابع ضمنها مثل Select_Child_CHs و Select_Delay، والتحكم ببارامترات $hops_{max}$ و TTL_{max} . يتحكم $hops_{max}$ بتغطية عنقود ما بينما يتحكم TTL_{max} بالمسافة بين قائد عنقود أب وابنه. يمكننا أن نميز منهجيتين تدرجان تحت هذه الخوارزمية:

2-3-2-1. العنقدة الهرمية البسيطة (SHC) Simple Hierarchical Clustering:

تتشكل العناقيد متعددة القفزات عندما يكون $hops_{max} > 1$. عندما تكون $TTL_{max} = hops_{max}$ يتم اختيار CCHs من العقد التي على حافة العنقود الأب. يوضح الشكل (3-a) شكل العنقود الأفضل نظرياً الذي يمكن تحقيقه عندما يكون $hops_{max} = TTL_{max} = 1$. للتبسيط، يتم إظهار مجموعة مختارة واحدة فقط من CCHs ويتم توسيع فرع واحد فقط إلى عدة مستويات. من المقبول لعنقود ما اختيار ثلاثة CCHs، إذا كانت منفصلة فيزيائياً قدر الإمكان.

لتكن n_i تشير إلى العقدة i و c_i تشير إلى العنقود i ، تشكل عقدة الجذر n_1 العنقود c_1 من خلال الاتصال مع كل جيران القفزة الواحدة و ثم تطلب من جيرانها الثلاثة n_2, n_3 و n_4 التي تكون على حافة العنقود، لتشكيل عنقودهم الخاصة c_2, c_3 و c_4 . تسمى عنقود المستوى 1 بينما تتبع عقدة الجذر للمستوى 0. ثم تطلب n_2 من n_5, n_6 و n_7 تشكيل عنقودهم الخاصة. حتى في هذه الحالة المبدئية، أشكال العناقيد ليست دائرية ما عدا c_1 .

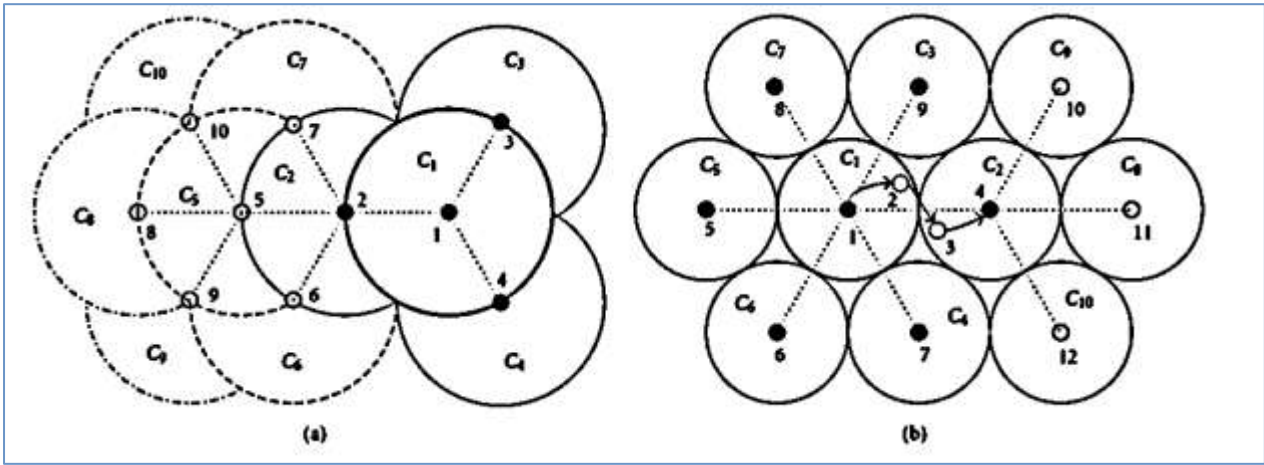
تتشكل العديد من العناقيد المترابطة كلما هبطنا نحو الأسفل في الشجرة. نظراً لكون التغطية الفعالة لعنقود ما صغيرة، نحتاج العديد من العناقيد وشجرة عنقود أطول لتغطية مجال التحسس. تعكس هذه المنهجية المخطط الأساسي المقترح في معيار IEEE802.15.4 [24] ونشير إليها بالعنقدة الهرمية البسيطة (SHC) Simple Hierarchical Clustering.

يمكن تخفيض التراكم بين عنقود الأب والابن من خلال انتقاء عقد تقع خارج العنقود الأب كـ CCHs. يمكن أن ينتشر بث تشكيل العنقود العام إلى ما بعد العنقود الأب (مثال: $TTL_{max} > hops_{max}$) عبر مجموعة من العقد الوسيطة لاختيار بعض العقد البعيدة كـ CCHs. عندما $TTL_{max} = 2hops_{max}$ ينخفض التراكم بين العناقود الأب والابن. تضمن أيضاً أن كلا العنقودين يمتلك نفس عدد القفزات.

2-3-2-2. العنقدة الهرمية متعددة القفزات (HHC) Hop-ahead Hierarchical Clustering:

وجد [6] أنه على الرغم من التحسن الملحوظ في أداء SHC، لا يزال تراكم العناقيد ممكناً نظراً للتوضع العشوائي للعقد، لذلك للحصول على تراكم أصغر، ينبغي أن تكون المسافة المثالية على الأكثر قفزتان $2hops_{max}$ بين قائد

العنقود و CCHs الخاصة به. لذلك اعتبر [6] أنه من الأفضل اختيار $TTL_{max} = 2hops_{max} + 1$ تدعى هذه المنهجية (HHC) Hop-ahead Hierarchical Clustering. يبين الشكل (b-3) الشكل الدائري لـ HHC وحيد القفزة. ترسل عقدة الجذر n_1 بث تشكيل العنقود العام و تتضمن كل جيران القفزة الواحدة إلى العنقود C_1 . يُوجَّه البث العام حتى تنتهي قفزات TTL. مثلاً: بعد الاستماع إلى البث من n_1 ، تتضمن n_2 إلى العنقود. بعد ذلك يُوجَّه البث العام من n_2 إلى n_3 و من n_3 إلى n_4 . أخيراً يصبح n_4 على بعد 3 قفزات عن قائد العنقود و لذلك يصبح CCH. تختار عقدة الجذر ست عقد كهذه العقدة (n_4 إلى n_9) تكون في اتجاهات مختلفة عن مجال الحساس كقائد عنقود ابن. يكون كافياً من أجل بقية المستويات أن يختار كل قائد عنقود أب ثلاثة قادة عناقيد كأبناء له على الأكثر، على سبيل المثال يتم تشكيل C_8 ، C_9 و C_{10} من قبل C_4 . نظراً لهذه الإعدادات، يشكل مخطط HHC عناقيداً أكبر، أكثر تدويراً وتمتلك توزيعاً أفضل لـ CCHs.



الشكل (3): الشكل المثالي لعناقيد القفزة الواحدة : (a)العنقدة الهرمية البسيطة $hops_{max} = TTL_{max} = 1$ ، (b) العنقدة الهرمية متعددة القفزات $hops_{max} = 1, TTL_{max} = 3$ ، تشير الخطوط المستقيمة إلى العلاقة بين قادة العناقيد الآباء و الأبناء [6].

4-2. تطبيق التعديل المقترح:

سنطبق خوارزمية العنقدة من الأعلى للأدنى العامة GTC في مرحلة التهيئة ضمن البروتوكول DECROP وفق ثلاث حالات:

- (a) منهجية العنقدة الهرمية البسيطة SHC و ذلك عندما $TTL_{max} > hops_{max}$ حيث يكون $hops_{max} = 2$ و $TTL_{max} = 3$.
- (b) منهجية العنقدة الهرمية البسيطة SHC و ذلك عندما $TTL_{max} = 2hops_{max}$ حيث يكون $hops_{max} = 1$ و $TTL_{max} = 2$.
- (c) منهجية العنقدة الهرمية متعددة القفزات HHC و ذلك بتشكيل عناقيد وفقاً للقيم $TTL_{max} = 2hops_{max} + 1$ حيث يكون $hops_{max} = 1$ و $TTL_{max} = 3$.

تدل $hops_{max}$ على حجم العنقود و تدل TTL_{max} على البعد بين قائد العنقود الأب والابن. ستعطي هذه البارامترات عدة أشكال مختلفة لطبولوجيا الشبكة بعدد عناقيد مختلف من أجل كل سيناريو، وسنقارن فيما بينها ونحل أداء كل منها.

النتائج والمناقشة:**1. سيناريو المحاكاة:**

أُجريت المحاكاة بواسطة محاكي الشبكات NS2.35 [24]، ويبين الجدول (1) إعدادات سيناريو المحاكاة المستخدم في هذه الدراسة. وهي مطابقة من حيث الزمن لتلك المتبعة في البروتوكول DECROP [22] وذلك للحصول على نتائج مقارنة دقيقة قدر الإمكان. زدنا زمن المحاكاة الكلي حتى 1700 ثانية وهو الزمن المستغرق ضمن المحاكى حتى يبدأ نفاذ قدرة مجموعة العقد المدروسة تحت مستوى 50%. تبدأ الـ BS عملية التهيئة في اللحظة 0. ترسل كل العقد معطياتها نحو الـ BS فقط بعد 12sec. ثم ترسل العقد دورياً إلى الـ BS بين 12 و 1200 ثانية بفواصل 4 ثواني. أخيراً، تستعلم الـ BS عن كل العقد بمعطيات 512 Bytes بفواصل 4 ثواني. ترسل العقد المعطيات إلى الـ BS من أجل بعد 12 ثانية و بعد 30 ثانية.

تأكدنا من اتصالية العقد فيما بينها من خلال برنامج NSG2 [23]. تم تشغيل المحاكاة بواسطة NS2.35 [24]، وقد جمعنا النتائج عن طريق تطبيق APP_Tool_Master المستخدم في التحليل المباشر لملفات الملاحقة trace files الناتجة عن نصوص برنامج المحاكاة NS2 tcl scripts [25].

بمحاكاة البروتوكول DECROP كانت العقد التي تفقد قدرتها أولاً مبينة في الشكل (4) وهي: 7,11,26,27,23,14,9,4,16,5,2,8,10,15، ملونة باللون الأصفر الذي يدل على نفاذ قدرة العقد تحت 50% من القدرة البدائية للعقد. العقد 3,11,28 و 16 هي قادة العناقيد كما أظهرنا من قبل في الشكل (2).

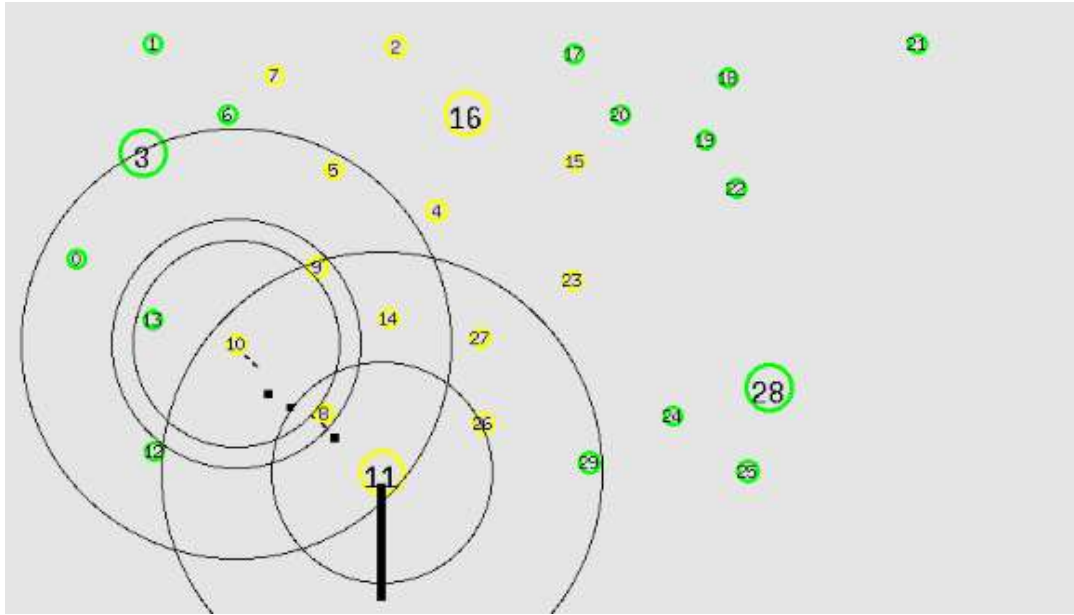
لاحظنا فيما بعد أن العقد التي تفقد قدرتها أولاً ضمن السيناريوهات التالية محصورة ضمن هذه المجموعة وهذا سبب آخر لاختيارها كمجموعة دراسة فعالة لمقارنة الأداء بين السيناريوهات المطروحة نظراً لكون متوسط القدرة المتبقية للعقد الكلية لا يعطي تقييماً دقيقاً لأداء كل سيناريو لأن العقد الطرفية لا تنفذ قدرتها بنفس السرعة التي تنفذ بها قدرة العقد الموجودة في منتصف الشبكة أي أن الدور الحيوبي الأكبر يقع على عاتق العقد المتوضعة في منتصف الشبكة. تم الاعتماد على مجموعة الدراسة المذكورة سابقاً للمقارنة بين منهجيات العنقدة ضمن سيناريوهات المحاكاة المقترحة.

الجدول(1): إعدادات سيناريو المحاكاة[22]:

Ns2.35	محاكي الشبكات
250kbps	معدل الإرسال
100m	مدى الإرسال
CBR(Constant Bit-Rate)	مصادر الحركية
512byte	حجم رزمة البيانات
30 عقدة	عدد العقد
1200m ²	مساحة حقل الدراسة
1700sec	مدة المحاكاة

تمت نمذجة مرحلة التهيئة والعنقدة في البروتوكول DECROP ومقارنة نتائج المحاكاة مع البروتوكول AODV نظراً لتقارب نتائج الطاقة المتبقية بينه وبين البروتوكول DECROP [22] وذلك للتأكد من صحة النموذج من جهة وللتأكد

من صحة المحاكاة من جهة أخرى. بمحاكاة البروتوكول DECROP كانت العقد التي تفقد قدرتها أولاً مبيّنة في الشكل أدناه.



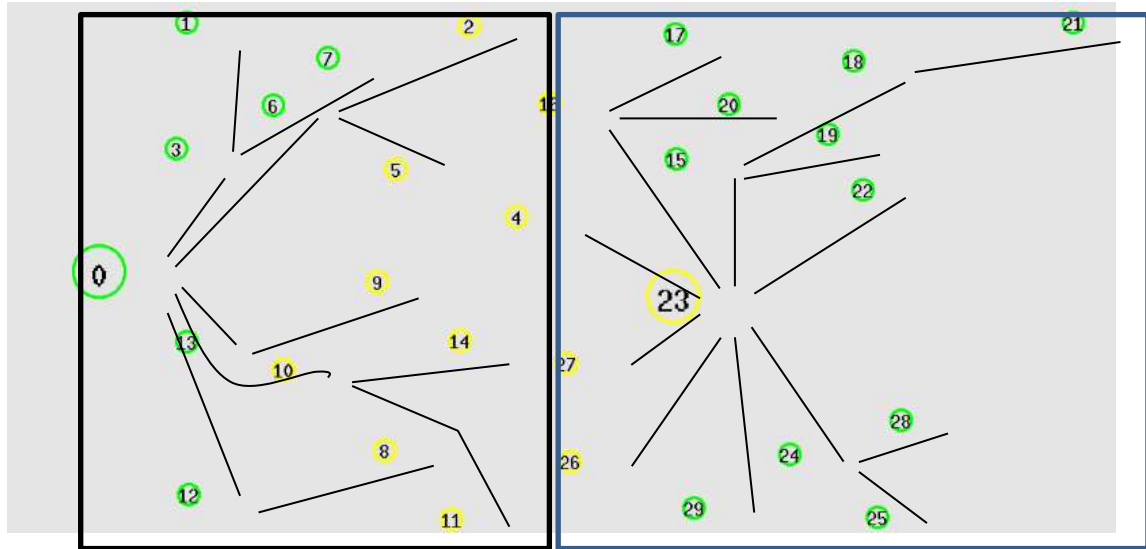
الشكل(4): محاكاة البروتوكول DECROP باستخدام ns2

3-1-1. السيناريو الأول: عنقدة باستخدام خوارزمية SHC بعنقودين

اعتمدنا منهجية العنقدة الهرمية البسيطة SHC وذلك عندما $TTL_{max} > hops_{max}$ حيث يكون $hops_{max} = 2$ و $TTL_{max} = 3$.

الهدف من هذا السيناريو معرفة تأثير عدد العناقيد على أداء الشبكة من جهة ومعرفة أفضل طريقة لانتقاء قادة العناقيد الأبناء من جهة أخرى. اعتمدنا في اختيار قائد العنقود الابن على درجة العنقدة الأكبر التي تغطي أكبر عدد ممكن من العقد وذلك بهدف تقليل عدد العناقيد قدر الإمكان. يبين الشكل (5) توزيع العناقيد في هذا السيناريو حيث العنقدة 0 هي العنقود الأب والعنقدة 23 هي قائد العنقود الابن. إضافة لعقد الشبكة التي تنفذ قدرتها باللون الأصفر.

تم الحصول على عدد عقد صفراء أقل من البروتوكول DECROP في هذا السيناريو وقد تحسن الأداء من حيث استهلاك الطاقة بنسبة 5% على الأكثر ولكن تركزت العقد التي تنفذ قدرتها أولاً في منتصف الشبكة كما هو مبين في الشكل (5) مما قد يؤثر سلباً على تقنية سماحية عطل الشبكة المتبعة في مرحلة صيانة المسار في البروتوكول DECROP لذلك لجأنا إلى زيادة عدد العناقيد إلى 3 كما سنرى في السيناريو الثاني.

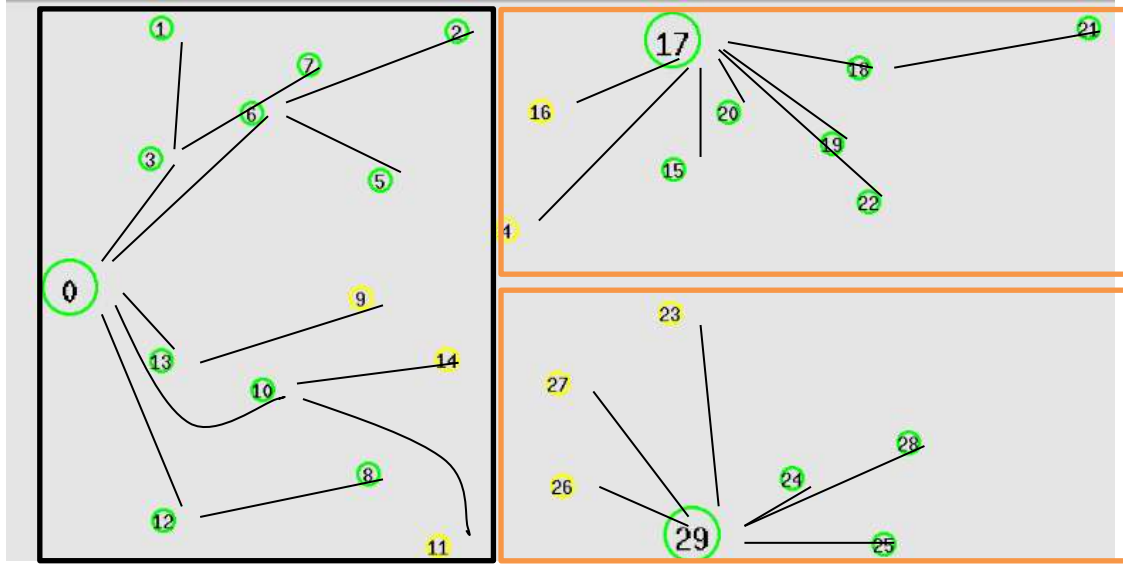


الشكل(5): تطبيق خوارزمية SHC اعتماداً على أقل عدد ممكن من العناقيد (عنقودين فقط)

3-1-2. السيناريو الثاني: عنقدة باستخدام خوارزمية HHC بثلاثة عناقيد

يعد هذا السيناريو التطبيق القياسي لخوارزمية HHC حيث نعلم نفس بارامترات $hops_{max} = 1$ و 3 $TTL_{max} =$ ولكن نعلم معايير مختلفة لانتقاء قادة العناقيد الأبناء. يفضل انتقاء قادة العناقيد الأبناء اعتماداً على درجة العقدة الأخفض كما يفضل دوماً انتقاء قادة عنقود أبناء منفصلة جغرافياً قدر الإمكان [6]. وهذا ما يوفر حمولة التحكم التي تولدها عملية التخابر بين العقد لانتقاء قادة العناقيد الأبناء. يبين الشكل (6) توزع العناقيد في هذا السيناريو حيث العقدة 0 هي قائد العنقود الأب والعقدتان 17 و 29 هي قادة العناقيد الأبناء ذات درجة العقدة الأخفض والمنفصلة جغرافياً كما تظهر العقد التي تنفذ قدرتها أولاً باللون الأصفر.

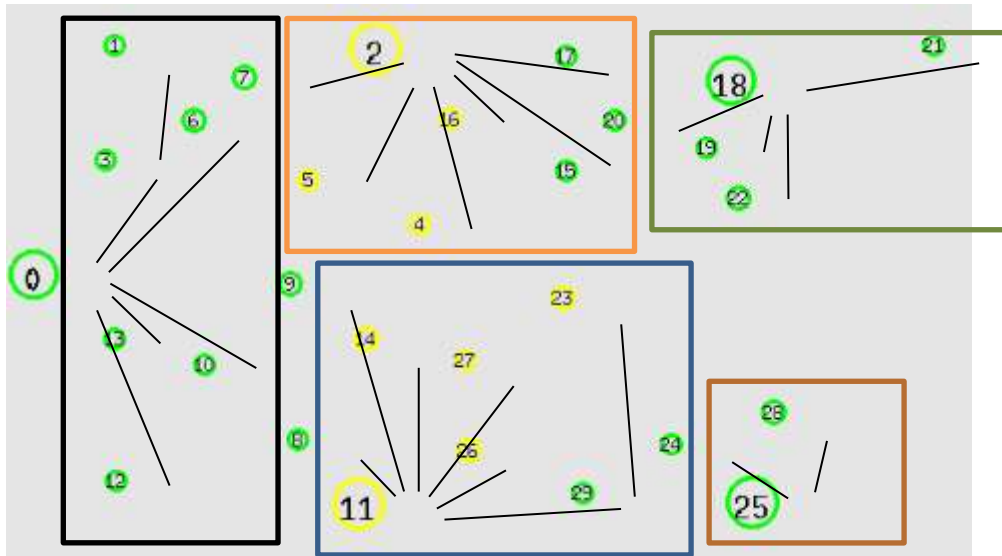
تم الحصول في هذا السيناريو على أداء أفضل من السيناريو السابق بنسبة 1% على الأقل (ضمن مجموعة الدراسة) وهي نسبة تحسن منخفضة نوعاً ما وذلك بسبب مشكلة ثقب التغطية التي تعاني منها منهجية العنقدة متعددة القفزات HHC بمعنى أن اختيار بارامترات $hops_{max} = 1$ و $TTL_{max} = 3$ سيؤدي إلى تشكل عنقود بحجم قفزة واحدة وسيتم اختيار الأبناء على بعد ثلاث قفزات لذا سنتنتج عقد لا تنتمي لأي عنقود تبعاً لبارامترات السيناريو الثاني (العقد: 1,7,2,5,9,14,11,8,21) ستنتهي هذه العقد للعناقيد ذات العمق الأخفض وبالتالي سيؤول السيناريو الثاني لوضع السيناريو الأول تقريباً $hops_{max} = 2$ ، و $TTL_{max} = 3$. وسنحافظ على نفس مجموعة العقد الحرجة التي تنفذ قدرتها أولاً وتقع في منتصف الشبكة. بغية الحصول على عناقيد وسيطة تغطي ثقب التغطية في السيناريو الثاني اعتمدنا بارامترات مختلفة في السيناريو الثالث تعطينا 5 عناقيد للتغلب على هذا المشكلة.



الشكل (6) تطبيق خوارزمية HHC اعتماداً على ثلاثة عناقد

3-1-3. السيناريو الثالث: عنقدة باستخدام خوارزمية SHC بخمسة عناقد

بارامترات السيناريو الثالث $hops_{max} = 1$ و $TTL_{max} = hops_{max} + 1 = 2$. يظهر لدينا في الشكل (7) خمسة عناقد تتوزع على مستويين كما يلي: العنقدة 0 قائد العنقود الأب، العنقتان 2، 11 قادة العناقد الأبناء في المستوى الأول، العنقتان 18، 25 قادة العناقد الأبناء في المستوى الثاني. كما نلاحظ في الشكل (7) تغلبنا على مشكلة تقوب التغطية بشكل كبير جداً (العقد 1 و 23 هي تقوب التغطية الوحيدة في الشبكة) حصلنا على خمسة عناقد تغطي كامل عقد الشبكة في مقابل تحسن متقارب جداً من HHC (ضمن مجموعة الدراسة). فيما يلي سنستعرض نتائج تحليل الأداء بين السيناريوهات الثلاثة ونقارن فيما بينها بشكل كلي ونختار الأفضل بينها للعمل في شبكات الحساسات اللاسلكية واسعة النطاق المتناثرة.



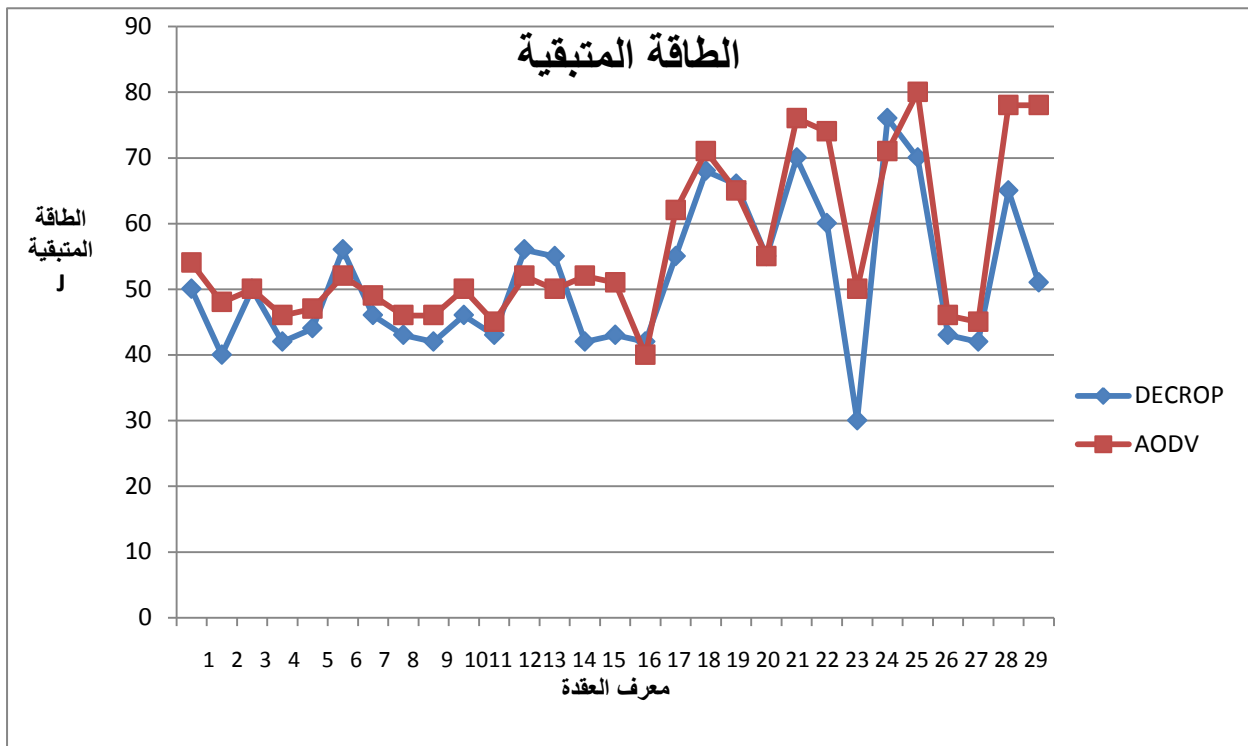
الشكل (7) تطبيق خوارزمية SHC اعتماداً على خمسة عناقد

3-2. بارامترات المحاكاة:

الطاقة المتبقية: هي الطاقة المتبقية في عقدة الحساس بعد انتهاء زمن المحاكاة. متوسط تأخير نهاية إلى نهاية: هو الزمن اللازم لإرسال رزمة البيانات عبر الشبكة من العقدة المصدر إلى العقدة الهدف. حمولة التحكم (رسائل التحكم): هو عدد رسائل التحكم المستخدمة في إيجاد المسار وتشكيل العناقيد في مرحلة التهيئة.

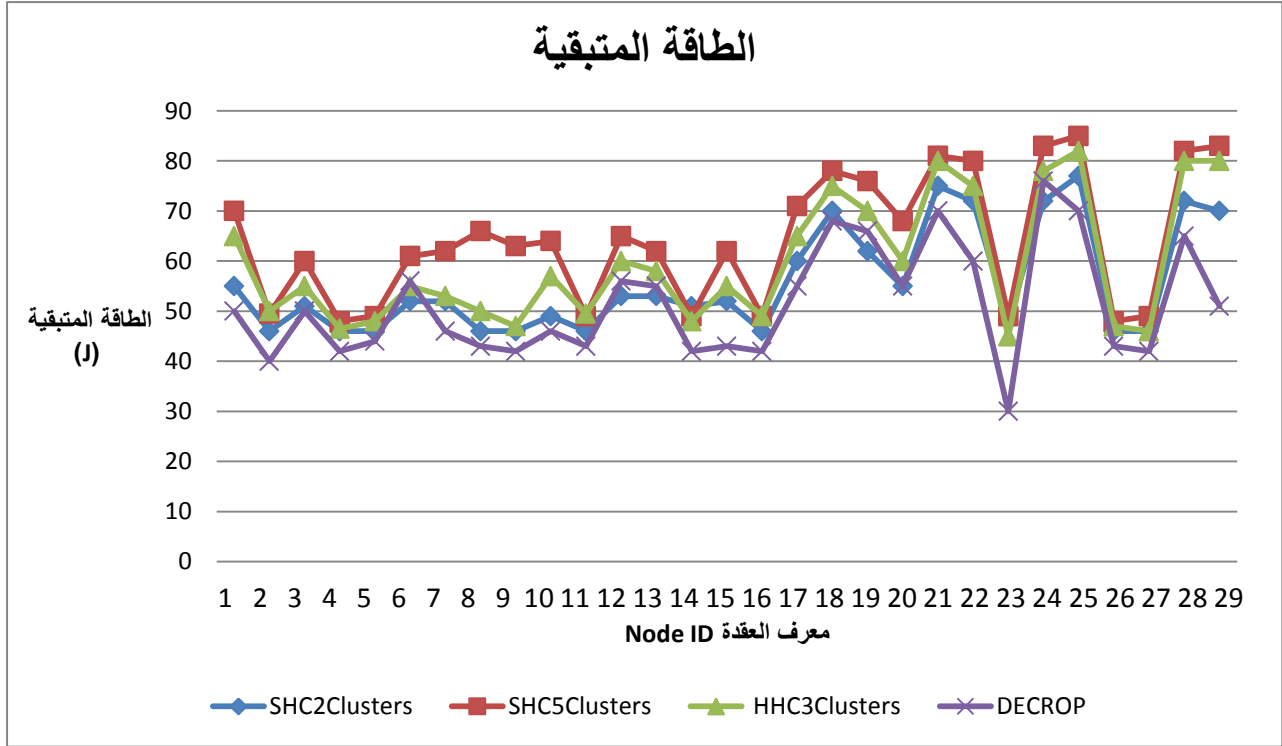
3-3. نتائج المحاكاة:

نبدأ أولاً ببارامتر الطاقة المتبقية في العقد الذي يشكل البارامتر الأساسي في هذه الدراسة، يوضح الشكل (8) المقارنة بين البروتوكولين AODV و DECROP. تمت مقارنة DECROP مع AODV للتأكد من صحة نموذج DECROP في مرحلة التهيئة.



الشكل (8) : مقارنة الطاقة المتبقية في العقد بين البروتوكول AODV والبروتوكول DECROP

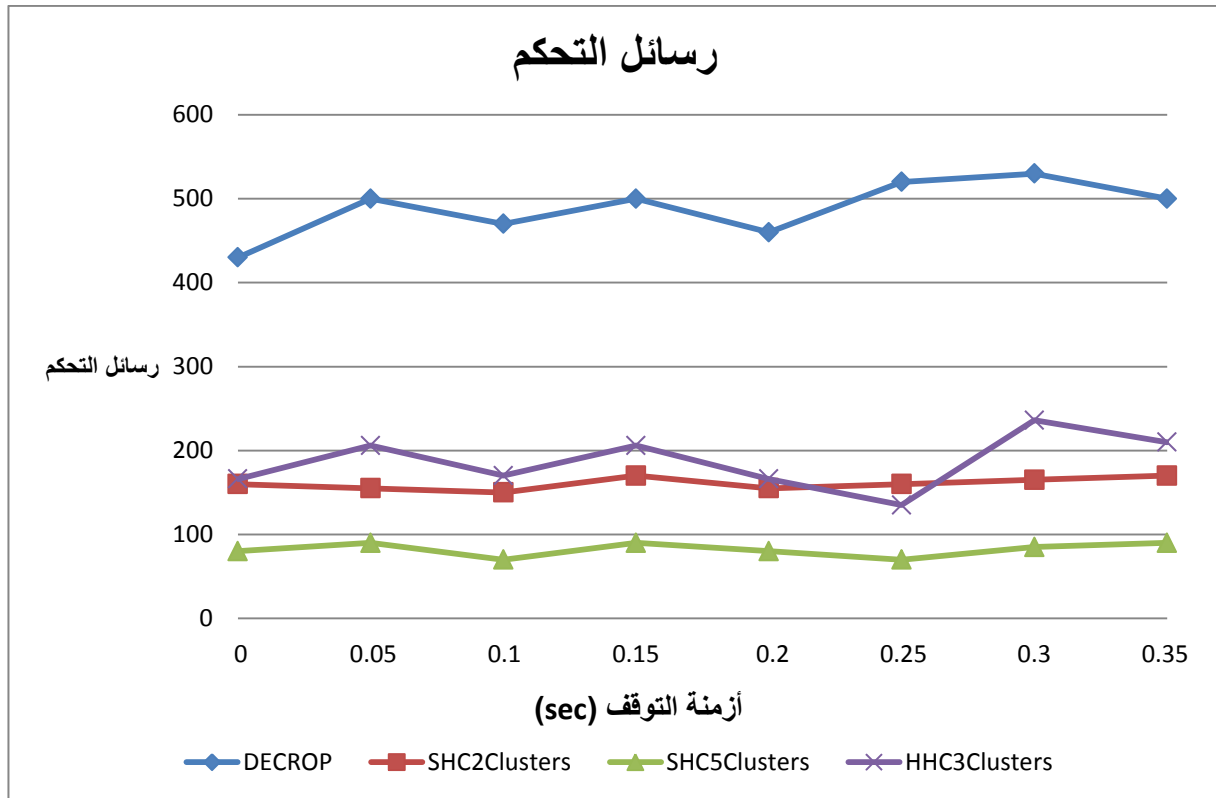
نلاحظ أن نتائج الطاقة المتبقية في العقد متقاربة كما ذكر في [22] مما يدل على صحة النموذج. بالانتقال إلى الشكل (9) الذي يبين مقارنة بين السيناريوهات المقترحة و البروتوكول DECROP، نلاحظ أن السيناريوهات الثلاث تتفوق على البروتوكول DECROP بنسبة تتراوح بين 4 إلى 13% على الأقل (انظر الجدول (2)) نتيجة عناقيده متباينة الحجم ومتعددة القفزات مما يبين أهمية اختيار طبولوجيا وطريقة عقدة مناسبة للشبكة.



الشكل(9) : مقارنة الطاقة المتبقية في العقد بين البروتوكول DECROP والسيناريوهات المقترحة

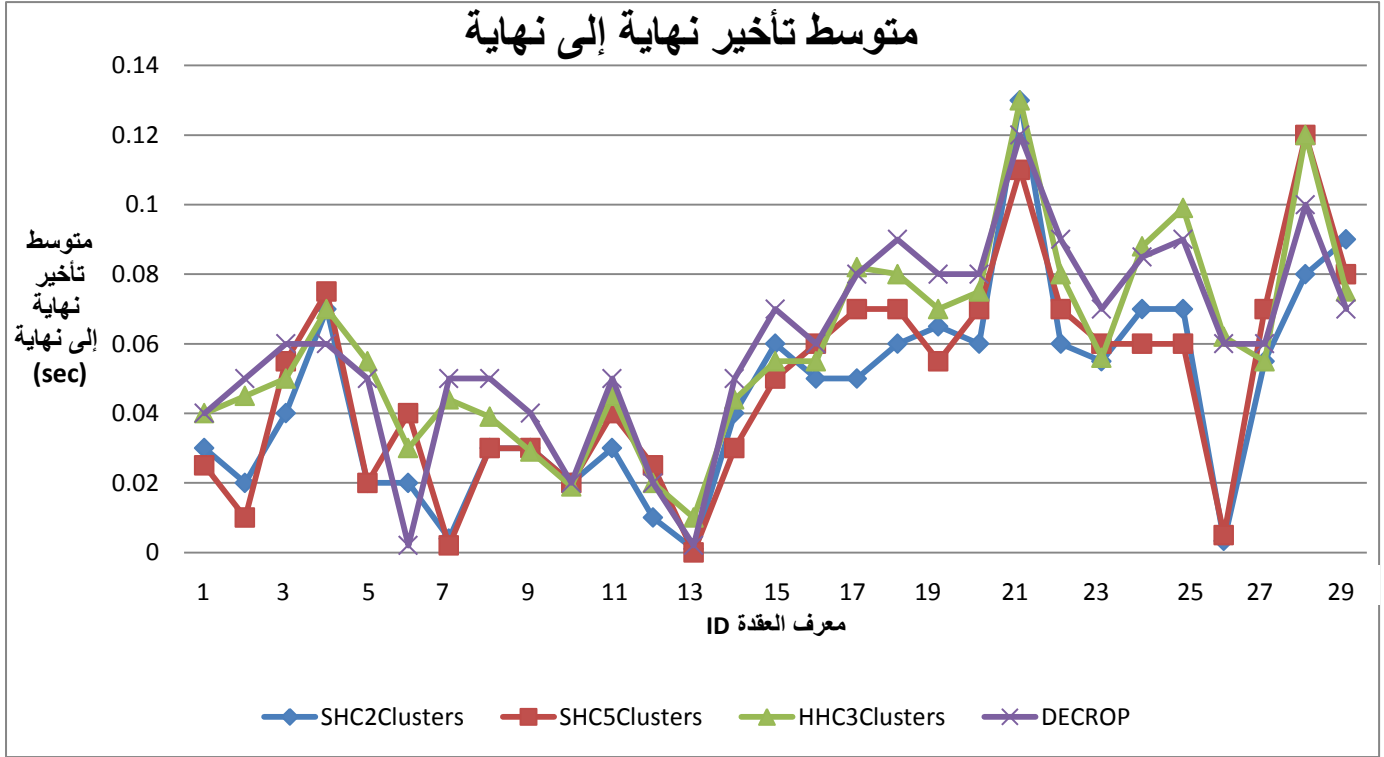
تتفوق منهجية العقدة البسيطة SHC5Clusters على بقية السيناريوهات نظراً لحجم عناقيدها الصغير حيث يغطي العقود بقفزة واحدة إضافة إلى أن البعد بين قائد العقود الأب والابن محدود بقفرتان وهذا يساعد على توازن استهلاك الطاقة بين عناقيدها هذا السيناريو نظراً لتمائل العناقيده ونسبة تدويرها الأعلى على عكس طريقة العقدة SHC2Clusters وطريقة العقدة HHC3Clusters فإنها تشكل عناقيداً أكبر حجماً متعددة الفترات، لذا تستهلك طاقة أكبر إضافة إلى كون البعد الكبير نسبياً بين قائد العقود الاب والابن يسبب تشكل ثقب في التغطية مما يخفض تدوير العناقيده ويزيد حجم العقود الأخفض عمقاً ولذلك يزيد استهلاك الطاقة وينخفض توازن استهلاكها بين العناقيده المتشكلة. وتظهر نتائج المقارنة في حمولة التحكم في الشكل(10)، إن كلفة تشكيل العناقيده في بروتوكول DECROP تفوق تلك المقترحة بعدة أضعاف وذلك يرجع إلى:

- منهجية العقدة من الأدنى للأعلى المعتمدة في مرحلة التهيئة التي تعتمد البث العام الكلي في بداية مرحلة تأسيس العناقيده والتي تستهلك عدداً كبيراً من رسائل التحكم.
- كما أن مبدأ تشكيل العناقيده المعتمد في البروتوكول DECROP يتيح لعدد كبير من العقد أن تختار نفسها كقائد عقود في بداية مرحلة التهيئة وجميعها تبدأ بالبث العام لتشكيل عناقيدها.
- تستهلك العناقيده ذات الحجم الأكبر حمولة أكبر ناتجة عن المصادقة الإضافية التي ترسلها العقد على بعد قفرتين عند الانضمام للعقود.



الشكل (10): مقارنة رسائل التحكم بين البروتوكول DECROP والسيناريوهات المقترحة

- يتفوق سيناريو منهجية SHC5Clusters على السيناريوهين الآخرين لعدة أسباب هي:
- لا تتطلب منهجية العنقدة من الأعلى للأدنى بئاً عاماً كلياً على الإطلاق وإنما فقط بئاً عاماً جزئياً عند تشكيل العناقيد.
 - عدد قادة العناقيد الأبناء محدود إذ تسمح بثلاثة قادة عناقيد أبناء على الأكثر شرط الانفصال الجغرافي بينها.
 - نتيجة اختيار بارامترات $hops_{max} = 1$ و $TTL_{max} = 2$ تنشأ عناقيد صغيرة الحجم بفقرة واحد لذا فإن كلفة مصادقة كل عقدة مع قائد العنقود رسالة واحدة فقط.
 - اختيار $TTL_{max} = 3$ يسبب نشوء ثقب تغطية تتمثل في العقد على بعد قفرتين إذا ليس بالضرورة أن يغطيها قائد العنقود الابن حيث قد لا تكون هناك اتصالية بين قائد العنقود الابن المختار والعقد التي على بعد قفرتان عن قائد العنقود الأب. لذا ستتضمن هذه العقد فيما بعد إلى العنقود الأب وهكذا يزداد حجم العنقود الأب وتزداد حمولته واستهلاكه للطاقة.
- بالنسبة لتأخير نهاية إلى نهاية فكما نلاحظ في الشكل (11) تستعلم الـ BS عن كل العقد في الشبكة بعد أن ترسل جميعها المعطيات إلى الـ BS. تعطي السيناريوهات نتائج متقاربة جداً من البروتوكول DECROP وذلك لأننا نحدد مسارات التوجيه مقدماً في مرحلة التهيئة، لذا لا حاجة للبدء بعملية تهيئة في كل مرة تحتاج الـ BS لإرسال معطيات إلى الهدف، ويبين الشكل أدناه أن جميع السيناريوهات المقترحة تحافظ على سرعة استجابة قريبة جداً من البروتوكول DECROP.



الشكل (11): متوسط تأخير نهاية إلى نهاية

يعطي الجدول (2) منظوراً عاماً لنتائج المحاكاة حيث يبين القيمة المتوسطة للطاقة المتبقية في مجموعة العقد الفعالة المختارة سابقاً ومتوسط تأخير نهاية إلى نهاية وعدد رسائل التحكم في مرحلة التهيئة وسطيّاً. نلاحظ أن السيناريوهات الثلاث المقترحة تتقارب جميعها مع البروتوكول DECROP بقيم متوسط تأخير نهاية إلى نهاية وذلك نتيجة اعتمادها انتقاء المسار في مرحلة التهيئة. يعطي سيناريو SHC5Clusters تفرقاً ملحوظاً من حيث استهلاكه للطاقة ولرسائل التحكم خلال عملية التهيئة بسبب صغر حجم عناقيده وقصر المسافة بين قائد العنقود الأب والأبناء التي تجنبنا تشكل ثقب التغطية التي تتطلب معالجتها تغييراً في حجم العنقود في مراحل لاحقة من خوارزمية GTC كما في سيناريو HHC3Clusters وسيناريو SHC2Clusters.

الجدول (2): مقارنة بين السيناريوهات المقترحة والبروتوكول DECROP

HHC3Clusters	SHC5Clusters	SHC2Clusters	DECROP	السيناريو
59.62	64.18	55.68	51.41	متوسط الطاقة المتبقية %
190	82	161	490	متوسط عدد رسائل التحكم خلال عملية التهيئة
0.06	0.058	0.055	0.057	متوسط تأخير نهاية إلى نهاية (sec)

الاستنتاجات والتوصيات:

اقترحنا في هذه الورقة تحسين البنية الهرمية العنقودية في البروتوكول DECROP من خلال استخدام خوارزمية GTC في مرحلة تشكيل العناقيد. بينت نتائج المحاكاة ما يلي:

تفوق البروتوكول المعدل بمنهجية العنقدة الهرمية البسيطة SHC ببارامترات $hops_{max} = 1$ و $TTL_{max} = 2$ على البروتوكول DECROP من حيث استهلاك الطاقة بنسبة 10% على الأقل في مقابل المحافظة على سرعة استجابة البروتوكول.

بينت نتائج المحاكاة أن البروتوكول المعدل بمنهجية العنقدة الهرمية البسيطة SHC ببارامترات $hops_{max} = 1$ و $TTL_{max} = 2$ قد تفوق على البروتوكول DECROP في عدد رسائل التحكم توفراً ملحوظاً إذ أنها لم تحسن استهلاك الاستطاعة و حسب بل خفضت حمولة التحكم بنسبة 75% على الأقل.

تعطي العنقدة من الأعلى للأدنى أداءً أفضل من حيث استهلاك الطاقة وحمولة التحكم والاستجابة السريعة لذلك يفضل استخدام هذه المنهجية في شبكات الحساسات اللاسلكية واسعة النطاق.

أن اختيار $hops_{max} = 1$ مكننا من تشكيل عناقيد صغيرة الحجم ذات تدوير عال وبالنتيجة استهلاك طاقة أقل وحمولة تحكم أقل.

إن اختيار $TTL_{max} = 2$ ساعدنا على التخلص من تراكم العناقيد مع تجنب مشكلة تقوب التغطية التي تظهر عندما $TTL_{max} > 2$.

بعد التدقيق في الاستنتاجات السابقة نوصي باستخدام خوارزمية العنقدة من الأعلى للأدنى GTC في شبكات الحساسات واسعة النطاق متسامحة العطل وبالأخص العنقدة الهرمية البسيطة SHC ببارامترات $hops_{max} = 1$ و $TTL_{max} = 2$ وذلك للأسباب الآتية:

- تقدم خصائص عناقيد وشجرة عنقودية مرغوبة من حيث التدوير و حجم العناقيد الصغير والموحد.
- تخفض من المناطق الساخنة في جوار العقدة المركزية SINK مما يزيد زمن حياة الشبكة.
- تحسن استهلاك الطاقة بشكل ملحوظ مما يزيد زمن حياة الشبكة.
- تصنف تحت تقنيات سماحية العطل الوقائية نظراً لكونها تزيد زمن حياة الشبكة.
- تخفض حمولة التحكم بشكل كبير قياساً بمنهجيات العنقدة من الأدنى للأعلى وخوارزميات العنقدة من الأعلى للأدنى ببارامترات $hops_{max} > 1$ و $TTL_{max} > 2$.

سنعمل في الأبحاث القادمة على:

- دراسة تأثير خوارزمية GTC على شبكة حساسات لاسلكية واسعة النطاق كثيفة، ونحلل أداؤها تحت بارامترات وسيناريوهات مختلفة.
- كما أننا سنحلل أداء البروتوكول المعدل في شبكات الحساسات اللاسلكية واسعة النطاق الهجينة من حيث التوجيه، وسماحية العطل، واستهلاك الطاقة.

References:

- [1] Chouikhi S., El Korbi I., Ghamri-Doudane Y., and Saidane L., " A survey on fault toleranc in small- and large-scale wireless sensor networks", Computer Communications. Vol.69, p.p.22-37, (2015).

- [2] Zhang Z., Mehmood A., Shu L., Zhang Y., Mukherjee M., and Huo Z " *A Survey on Fault Diagnosis in Wireless Sensor Networks*", IEEE Access.Vol.6, p.p.11349-11364, (2018).
- [3] Mehmood A., Alrajeh N., Mukherjee M., Abdullah S., and Song H., " *A Survey on Proactive, Active and Passive Fault Diagnosis Protocols for WSNs: Network Operation Perspective* ", Sensors, p.p.1-22, (2018).
- [4] Shung J., Lin M., Danyang Q., Songxiang Y., " *Research on Energy Sensing Based Fault-Tolerant Distributed Routing Mechanism for Wireless Sensor Network*", IEEE Access.Vol.6, p.p.39775-39786, (2018).
- [5] Shihong H., Guanghui L., " *Fault-Tolerant Clustering Topology Evolution Mechanism of Wireless Sensor Networks*", IEEE Access.Vol.6,p.p. 28085-28096 (2018).
- [6] Jayasumana P., A Illangasekare T.H., Bandara D.H.M.N., " *A Top-Down Clustering and Cluster-Tree-Based Routing Scheme for Wireless Sensor Networks*", Hindawi Publishing Corporatio, International Journal of Distributed Sensor Network.Vol.7, p.p.1-17,(2011).
- [7] Liu H., Nayak A., Stojmenovic I., " *Fault tolerant algorithms/protocols in wireless sensor networks*", Springer, Handbook of Wireless Ad Hoc and Sensor Networks, p.p.261–291,(2009).
- [8] Alkubaily M.,Younes N., " *Tolerating Routing Faults in Wireless Sensor Networks with Cluster Tree Structures*", Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies-Engineering Sciences Series. Vol.36,p.p.185-204,(2014).
- [9] Alkubaily M., Ahmad A., Ali N., " *The Reliability of Wireless Sensors Networks Used For Early Detection of Fire, Status: Fir & Cedar Preserve in Lattakia, Syria*", Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies-Engineering Sciences Series. Vol.38,p.p.359-377,(2016).
- [10] de Souza L., Vogt H., Beigl M., " *A survey on fault tolerance in wireless sensor networks*", .Interner Bericht. Fakultät für Informatik, Universität Karlsruhe,(2007).
- [11] Natsheh E., Natsheh K., " *Density Based Routing Algorithm for Spare/Dense Topologies in Wireless Mobile Ad-Hoc Networks*", American J. of Engineering and Applied Sciences.Vol.3, p.p. 312-319, (2010).
- [12] Bettstetter C., " *On the Connectivity of Wireless Multihop Networks with Homogeneous and Inhomogeneous Range Assignment*", Proceedings IEEE 56th Vehicular Technology Conference. Vol. 3, p.p.1706-1710,(2002).
- [13] Abhishek T., et al., " *Coverage and Connectivity in WSNs: A Survey, Research Issues and Challenges*", IEEE Access.Vol.6, p.p. 26971-26992, (2018).
- [14] Chaudhari MR., ROTE U., " *Routing Protocols for Large-Scale Wireless Sensor Networks: A Review*", International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication.Vol.5, p.p.174-183, (2017).
- [15] Wu T., Biswas S., " *Off-network control for scalable routing in very large sensor networks*", Proceedings of 2007 IEEE International Conference on Communications.p.p.3357–3363, (2007).
- [16] Wu T., Yu F., Biswas S., " *Scalable hybrid routing in very large sensor network*", 8th International Conference on Mobile Data Management. p.p.366–

- 370, (2007).
- [17] Chen Y., Chan E., Han S., "Energy efficient multipath routing in large scale sensor networks with multiple sink nodes",in: Proceedings of APPT,p.p.390-399, (2005).
- [18] Hammoudeh K.M., Gaura A.E.," *MuMHR: multi-path, multi-hop hierarchical routing*",in: Proceedings of International Conference on Sensor Technologies and Applications.p.p.140–145,(2007).
- [19] Lu H., Li J., Wang G.," *A novel energy efficient routing algorithm for hierarchically clustered wireless sensor networks*". in: Proceedings of 4th International Conference on Frontier of Computer Science and Technology.p.p.565–570, (2009).
- [20] Han R., Yang W., Wang Y., You K.," *DCE: A Distributed Energy-Efficient Clustering Protocol for Wireless Sensor Network Based on Double-Phase Cluster-Head Election* ". Sensors.Vol.17(5),(2017).
- [21] Smaragdakis G., Matta I., and Bestavros A.," *SEP: A stable election protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks*". Second International Workshop on Sensor and Actor Network Protocols and Applications (SANPA),(2004).
- [22] Chen J., Yin Z., Li D., Sun T.," *A distributed and effective cluster routing protocol of sensor networks*". in: Proceedings of 1st International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems.p.p.271 -275,(2008).
- [23] <https://ns2blogger.blogspot.com/2014/04/nsg-21-tcl-script-generator.html>. Last date September2019.
- [24] "NS2 official website" [Online]. Available: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>. Last date September 2019.
- [25] <https://www.nsnam.com/2014/11/app-tool-for-analysing-tracefiles-for.html>. Last date September 2019.
- [26] IEEE Computer Society, "*IEEE.802.15.4: Wireless medium access control and physical layer specifications for low-rate wireless personal area networks*," September , (2006).