

Applying Software-Defined Networks Technology to Data Aggregation in Wireless Sensor Network to Improve its Performance

Dr. Jamal Khalifeh *

Mariam Ali **

(Received 15 / 2 / 2023. Accepted 25 / 5 / 2023)

□ ABSTRACT □

In this article, we present a proposed methodology in order to improve the performance of collection operations in wireless sensor networks, through the application of software-defined networking technology through the (SD WISE) platform. The conditions for selecting the grouped nodes in the controller were determined by adjusting the weights of the (Dijkstra) algorithm. The grouped nodes that include the node were determined based on the paths chosen by the algorithm. The SDN-WISE platform is based on Stateful and the implementation of the so-called Finite State Machine, which helped us get rid of the limitations of traditional methods in applying software-defined networking technology in wireless sensor networks. It supports reading the payload of the packet and not just the header, in addition to the possibility of dealing with a packet depending on another packet, and the flexibility to modify the routing tables in order to achieve the appropriate rules for the proposed aggregation algorithm. The results show a significant reduction in the energy consumed after applying the proposed algorithm.

Keywords: Software Defined Network, Wireless Sensor Network, Data aggregation, SD-WISE, Energy consumption

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

*Professor, Department of Telecommunications and Electronics, Faculty of Mechanical and Electrical engineering, Tishreen University, Lattakia , Syria

**Postgraduate student(M.A), Department of Computer and Control, Faculty of Mechanical and Electrical engineering, Tishreen University, Lattakia , Syria. mariam.ali@tishreen.edu.sy

تطبيق تقنية الشبكات المعرفة بالبرمجيات في تجميع البيانات في شبكات الحساسات اللاسلكية من أجل تحسين أدائها

د. جمال خليفة*

مريم علي**

(تاريخ الإيداع 15 / 2 / 2023. قُبِلَ للنشر في 25 / 5 / 2023)

□ ملخص □

نقدم في هذا المقال منهجية مقترحة من أجل تحسين أداء عمليات التجميع في شبكات الحساسات اللاسلكية وذلك من خلال تطبيق تقنية الشبكات المعرفة بالبرمجيات عن طريق منصة (SD-WISE)، وتأتي أهمية تطبيق الشبكات المعرفة بالبرمجيات لما تحقّقه من فصل بين مجالي التحكم والبيانات. حددت شروط اختيار العقد المدمجة في المتحكم من خلال ضبط أوزان خوارزمية (Dijkstra). تم تحديد العقد المدمجة التي تتضمن العقدة بناء على المسارات المختارة عن طريق الخوارزمية. تعتمد منصة SDN-WISE على الحالة (Stateful) وتنفيذ ما يسمى آلة الحالة المنتهية (Finite State Machine)، مما ساعدنا في التخلص من قيود الطرق التقليدية في تطبيق تقنية الشبكات المعرفة بالبرمجيات في شبكات الحساسات اللاسلكية حيث تدعم قراءة حمولة الرزمة وليس فقط الترويسة، إضافة إلى إمكانية التعامل مع رزمة بالاعتماد على رزمة أخرى، والمرونة في تعديل جداول التوجيه من أجل تحقيق القواعد المناسبة لخوارزمية التجميع المقترحة. ويتضح من خلال النتائج التقليل الكبير في الطاقة المستهلكة بعد تطبيق الخوارزمية المقترحة.

الكلمات المفتاحية: الشبكات المعرفة بالبرمجيات، شبكات الحساسات اللاسلكية، تجميع البيانات، SD-WISE، استهلاك الطاقة.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

* أستاذ، قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.
**طالبة دراسات عليا(ماجستير)، قسم الحاسبات والتحكم الآلي، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.
mariam.ali@tishreen.edu.sy

مقدمة:

تعد شبكات الحساسات اللاسلكية إحدى أهم أنواع الشبكات اللاسلكية المكونة من مئات العقد الصغيرة منخفضة التكلفة وذات محدودية في الذاكرة والطاقة والمعالجة. وتتألف كل عقدة من حساس أو أكثر وذلك حسب الحاجة. كما يوجد عقد تسمى العقد المجمعة التي تعتبر مسؤولة عن جمع البيانات من العقد الطرفية وإجراء عمليات معالجة معينة [1]، وتعتبر نوع من الشبكات اللامركزية (ad-hoc) والتي تعتمد على إنشاء اتصال بين عقدتين أو أكثر دون استخدام نقطة اتصال مركزية (access-point) [2].

لكل عقدة في شبكات الحساسات اللاسلكية منطقة تحسس، ويمكنها استشعار الأحداث والأشياء ضمن هذا النطاق بالإضافة إلى ذلك يمكن لكل عقدة الاتصال عبر واجهة اتصال لاسلكية مع العقد الأخرى الموجودة في نطاق الاتصال لهذه العقدة. يتم نقل المعلومات التي تجمع عن هذا الحدث إلى ما يسمى محطة قاعدة من خلال الاتصال المتعدد القفزات وبدورها ترسل القاعدة بيانات الشبكة عبر الإنترنت إلى المخدم الخاص بالتطبيق.

أدى التزايد الكبير في عدد التطبيقات المطلوب تنفيذها في شبكات الحساسات اللاسلكية إلى نقص الموارد المستخدمة بسبب الحاجة إلى نشر عدة شبكات حساسات لاسلكية متداخلة لتنفيذ التطبيقات المتنوعة المطلوبة بينما يمكن تنفيذها في بنية شبكية واحدة، كما وتعتبر شبكات الحساسات اللاسلكية جامدة من حيث القواعد المتعلقة بالعوامل الخارجية (كنشغيل الأعمال ووصول المستخدم) [3]

كان يشكل ارتباط التحكم بشكل كامل بالأجهزة الشبكية عائقاً كبيراً في تنفيذ متطلبات التطبيقات المتنوعة والمتعددة بالمرونة المطلوبة، كما عانت أساليب تجميع البيانات التقليدية في شبكات الحساسات اللاسلكية من التكرار في البيانات المرسله والذي يسبب حمولة زائدة وغير مفيدة في الشبكة والتأخير الذي لا يناسب التطبيقات الحديثة.

تعد كل الأسباب المذكورة أعلاه سبباً في التوجه لفصل مجال التحكم عن مجال البيانات أو ما يسمى مجال التوجيه، بالتالي تم اقتراح تقنية الشبكات المعرفة بالبرمجيات والتي تعتمد بشكل أساسي على الفصل بين المجالين المذكورين، وهذا يعني أن عقد التوجيه لا تتصل مع بعضها البعض لنشر جداول التوجيه كما في الشبكات التقليدية بل يقوم المتحكم بتهيئة هذه الجداول، وتعتبر الشبكات المعرفة بالبرمجيات بنية ناشئة وديناميكية وقابلة للإدارة وفعالة من حيث الكلفة والتكيف مما يجعلها مثالية للنطاق الترددي العالي والطبيعة الديناميكية لتطبيقات اليوم. إن اختيار العقد المجمعة وآلية التجميع من خلال قواعد يتم تحديدها في المتحكم يحسن من أداء الشبكة بشكل واضح من خلال تقليل استهلاك طاقة العقد وإطالة زمن حياة الشبكة.

الدراسات المرجعية:

اقترح الباحثون في الدراسة [5] مخططاً لجدولة تجميع البيانات الخالية من التصادم في شبكات الحساسات اللاسلكية التي يطبق فيها دورات العمل، مما يقلل بشكل كبير من تأخير تجميع البيانات. يتكون المخطط المقترح من خوارزمية DTC وخوارزمية FAS لتجميع البيانات بكفاءة عالية. تظهر نتائج المحاكاة أنه تم التقليل بشكل كبير من وقت تجميع البيانات في عقدة المجمع (sink)، لكن طبقت هذه الدراسة في الشبكات التي تعتمد على دورات العمل فقط.

قدم الباحثون في الدراسة [6] الخوارزمية الموزعة التي تعتمد على التقليل المحلي بهدف بناء مسار توجيه بشكل ديناميكي وذلك لتقليل ازدحام البيانات من أجل التجميع المعتمد على تقطيع الضغط (compression sampling) في شبكات الحساسات اللاسلكية. الهدف الأساسي هو تقليل حركة المرور إلى حدها الأدنى في عملية تجميع البيانات الهجينة مع انخفاض التكاليف العامة. يفترض المؤلفون أن تجميع البيانات يتم في دورات عن طريق برمجة الشبكة

بالشكل الصحيح بحيث لا يحدث أي خطأ في الإرسال خلال التطبيق لمخطط شيفرة المصدر (source code scheme)، لذلك يشكل مسار التوجيه في عملية جمع البيانات شجرة تجميع جذرها المحطة الرئيسية (Base station). يتم تحديد العقدة كمجمع عندما يكون حجم لبيانات المرتبطة بها أكبر من عتبة محددة M. تحقق هذه الطريقة تكلفة نفقات قليلة جدا ولكن لا تدعم حفظ طاقة العقدة.

اقترحت في الدراسة [7] بنية تجميع بيانات كبيرة ثلاثية الطبقات بالإضافة إلى بروتوكول تجميع البيانات الديناميكي المعتمد على الأولوية (priority-based dynamic data aggregation) في شبكات الحساسات اللاسلكية، والذي يعتبر أسلوباً هجيناً وذلك بناء على نوع التطبيق حيث يستخدم الطرق المعتمدة على الأشجار في تطبيقات الزمن الغير حقيقي والتي لا تحتاج إلى سرعة في إيصال البيانات بينما يستخدم طريقة العقدة في تطبيقات الزمن الحقيقي، ويعتمد على اختيار عقد نشطة توفر تغطية كاملة للشبكة. يحقق كفاءة في تقليل وقت معالجة البيانات والحمل على مستوى خوادم البيانات الكبيرة، ولكن الاعتماد على اختيار رؤوس الكتل (العناقيد) على اعتبار أنها العقد الأقرب إلى المحطة الرئيسية سوف يسبب في انخفاض طاقة هذه العقد بشكل كبير.

تم في الدراسة [8] تقديم طريقة تجميع جدول التدفق العملي (FTTA) غير المتصلة بالإنترنت وتجميع جدول التدفق المتزايد في العقد المتصل بالإنترنت (IFFTA) في شبكات SDN وذلك لحل المشاكل الناجمة عن ادخال التجميع في جدول التدفق لأن سياسات تجميع البيانات يمكن أن تبطل تحديثات الجدول وتطيل مدة التحديث، والتي يكون خلالها مستوى البيانات غير متسق مع مستوى التحكم. بالإضافة إلى أنه من المتوقع حدوث العديد من الأخطاء، قد يشمل ذلك حالات فشل الوصول، وحلقات إعادة التوجيه، وعزل حركة المرور، والتسرب أثناء إعادة التوجيه.

اقترح الباحثون في الدراسة [9] طريقة إعادة التوجيه المحلي السريع (LFR) في شبكات SDN، وذلك من أجل تقليل تحديث التدفق عندما يحدث خطأ في مسار التوجيه المحلي، حيث يقوم بتجميع جميع التدفقات المتأثرة بالخطأ في تدفق واحد كبير ويتم فرض مسار جديد من قبل متحكم SDN.

تم التركيز في [10] على تدفقات البيانات والتي تم تجميعها بشكل مثالي من أجل القياسات في شبكات SDN، وتمكنوا من فك التجميع وقياس تدفقات البيانات الأكثر إفادة لقياس كل تدفق بشكل مباشر خلال إيدخلات الذاكرة الثلاثية القابلة لعنونة المحتوى (TCAM) للمبدلات، ونظرا لأحجام TCAM المحددة تم تصنيف إيدخلاتها إلى مجموعتين تشملان التجميع الأمثل للتدفقات الواردة لقياسات التجميع وفك التجميع وقياس التدفقات الأكثر إفادة للقياس في كل تدفق. تم استخدام نموذج القياس و(التجميع/فك التجميع) الذكي المعتمد على SDN (ISTAMP) لتجميع قياسات التدفق لتقدير تدفقات الشبكة بشكل فعال، وتم تقديم مصفوفة تجميع مثالية لتقليل خطأ تقدير حجم التدفق وهو مخطط فعال لمصفوفة تجميع التدفق في ظل الموارد المقيدة بأحجام TCAM محددة.

قدمت الدراسة [11] اقتراح طريقة تجميع التدفق المتكيفة بالاعتماد على التقدير (estimation) لتقليل ازدحام التحكم بشكل مباشر في شبكات الحساسات اللاسلكية المطبق فيها تقنية الشبكات المعرفة بالبرمجيات وتعد الطريقة الأفضل وذلك لأنها تسهل تحقيق سعة شبكة جيدة مع فقد حزم ورسائل تحكم أقل، حيث من خلال أبحاثهم وجدوا أنه عندما تزيد رسائل التحكم، نقل السعة المتاحة ولكن نظراً لأن حركة التحكم وحركة مرور البيانات تنتقل معاً عبر نفس القناة، وبالتالي يصعب التغلب على هذه المشكلة. وبما أنه لا يمكن قياس معدل التدفق إلا عند الوصول إلى العقدة القابلة للبرمجة في مستوى البيانات، فمن الصعب دائماً تحديد السعة الصحيحة للقناة للتدفقات، لذلك اقترح الباحث طريقة

التقدير حيث يتم وضع التدفق في قناة أكبر ويتم قياس الحجم، بعد ذلك يتم ترحيلها إلى قناة صغيرة ولكن لديها سعة قناة كافية لنقل التدفق.

ناقشت الدراسة [12] ميزات القابلية لتوسع جداول توجيه open flow والتجميع الديناميكي داخل الشبكة. تعتبر من أفضل دراسات تجميع حزم التحكم في شبكات SDWSN، حيث تم تنفيذ ثلاثة أنواع من العقد يتضمن ذلك عقدة المتحكم والعقدة الوسيطة والعقدة الطرفية (عقدة المصدر). يحدث التجميع بناء على عتبة محددة في عقد معينة، بالتالي تحتاج جداول التدفق إلى آلية قادرة على إجراء حسابات صغيرة على القيم القادمة من الحساسات لكي تستطيع العقد الوسيطة من إجراء التجميع.

يتضح من خلال الدراسات السابقة أن اختيار آلية التجميع وبناء عليها العقد المجمع يؤثر بشكل واضح في استهلاك الطاقة إضافة إلى أنه يتم اختيار العقد المجمع بحيث تحقق تغطية كاملة للشبكة إضافة إلى الاعتماد على الطاقة المتبقية للعقدة كما يتضح في شبكات الحساسات اللاسلكية الأعباء التحكمية التي تتحملها العقدة المجمع مما يستهلك طاقة العقدة بشكل كبير وبشكل خاص عند تنفيذ متطلبات الشبكات الحديثة من تطبيقات متنوعة وهذا ما سيتم معالجته ففي تطبيق تقنية الشبكات المعرفة بالبرمجيات (SDN).

أهمية البحث وأهدافه:

تكمّن أهمية البحث في تطبيق التجميع على مستوى العقد في شبكات الحساسات اللاسلكية من خلال استخدام منصة (SD-WISE) التي تمكننا من تطبيق تقنية الشبكات المعرفة بالبرمجيات في شبكات الحساسات اللاسلكية، وتتميز هذه المنصة بأنها (stateful) أي يمكن برمجة عقد الحساسات كآلات حالة محدودة (Finite state machine)، والتي يمكن أن تكون مفيدة لتقليل الإشارات بين العقد ووحدة التحكم والسماح بتنفيذ السياسات التي لا يمكن دعمها بطريقة عديمة الحالة، إضافة إلى أن (SD-WISE) تدعم قراءة حمولة الرزمة وليس فقط الترويسة، إضافة إلى إمكانية التعامل مع رزمة بالاعتماد على رزمة أخرى بالتالي سيتم برمجة آلية التجميع في متحكم مركزي منفصل عن العقد يمتلك نظرة كاملة عن طوبولوجيا الشبكة وسنقوم بتطوير جدول التدفق لتطبيق القواعد المناسبة لعملية التجميع على عقد الحساسات، ستمكن هذه الطريقة من اختيار العقد المجمع بطريقة فعالة ودقيقة جداً، مع استهلاك أقل طاقة.

طرائق البحث ومواده:

- استخدمنا في بحثنا برنامج Cooja 2.7 الذي يعمل من خلال نظام تشغيل Contiki OS والذي يعمل بنواة نظام Linux UBUNTU ويمكن تحميله مباشرة كنظام تشغيل حي وبرنامج المحاكاة من نصب عليه بشكل تلقائي.
 - تعتمد البنية التي تم تطبيقها لشبكات الحساسات اللاسلكية المطبق عليها تقنية الشبكات المعرفة بالبرمجيات (SD-WISE) على الفصل بين مجالي التحكم والبيانات ووجود متحكم يمتلك نظرة عامة لطوبولوجيا الشبكة كاملة كما أنها تتميز بأنها تابعة للحالة (stateful)[14]
 - تقسم بنية شبكة الحساسات اللاسلكية عند تطبيق منصة SDN-WISE إلى
1. طبقة البنية التحتية: تمثل الجزء السفلي وتتألف من عقد التوجيه.

2. طبقة التحكم: تتضمن مجموعة من وحدات التحكم والتي تضبط مسارات البيانات عن طريق ما يسمى الواجهة الجنوبية (Southbound Interface) وأكثر الواجهات استخداما هي open flow
 3. طبقة التطبيقات: تتمثل بمجموعة التطبيقات التي يتم إدخالها إلى وحدات التحكم لتثبيت القواعد المناسبة على مسارات البيانات، ويتم إدخال هذه القواعد عن طريق الواجهة الشمالية (Northbound Interface) [4].
- تم استخدام لغتي البرمجة C و JAVA

الخوارزمية المقترحة

تعتمد الخوارزمية على أنواع العقد الآتية:

- 1- عقد الحساس Sensor nodes: وهي عبارة عن حساسات ذكية متعددة الوظائف وصغيرة الحجم إضافة إلى أنها منخفضة الطاقة والتكلفة وتنتشر في منطقة الشبكة بشكل عشوائي للحصول على المعلومات التي تعكس التغيرات في البيئة المحيطة. تقوم هذه العقد بجمع البيانات ونقلها إلى مجمع ثابت عند تحسس حدث ما.
- 2- عقدة المجمع Sink node: عبارة عن عقدة تحسس مزودة بموارد وقدرة معالجة تفوق عقدة الحساس العادي، وتتصل مع المتحكم لتزويده بمعلومات عن حالة الشبكة واستقبال قواعد وأوامر تحكمية لضبط عمل عقد الشبكة تتواجد عقد الحساس وعقدة المجمع في مجال البيانات.
- 3- عقدة المتحكم Controller: يوجد في المجال التحكمي يقوم بتزويد الشبكة بالأوامر والقواعد التحكمية للقيام بجميع العمليات ضمن مجال التحسس وذلك بناء على معلومات تزودها بها طبقة التطبيقات، بحيث يمتلك المتحكم نظرة عامة عن الشبكة كاملة

خطوات الخوارزمية

1. نشر العقد بشكل عشوائي
2. تحديد شرط اختيار عقدة التجميع عن طريق الوحدة المركزية في شبكات SDN ✓
- ✓ تعيين المسار الأقصر إلى المجمع
- ✓ اختيار العقدة المجمعة بحيث تكون العقدة ذات العدد الأكبر من وصلات في هذا المسار.
3. اختيار العقدة المجمعة ضمن الوحدة المركزية في شبكات SDN وتعيين القواعد المناسبة
4. نشر القواعد ضمن شبكة الحساسات اللاسلكية.
5. تطبيق عملية التجميع على الرزم الواردة

1- تحديد عدد العقد الجارة لكل عقدة بحيث تقوم هذه العقد باستخدامها كقفزة تالية باتجاه عقدة المجمع: [13]
 يعد اعتمادنا منصة sd-wise لتطبيق تقنية الشبكات المعرفة بالبرمجيات في شبكات الحساسات اللاسلكية حلا مثاليا لمعرفة حالة الشبكة وتحديثاتها بشكل دائم دون انقطاع حيث إن منصة sd-wise، تتميز بأنها (stateful) أي إنها تعتمد بشكل كلي على معرفة حالة عقد الشبكة وتغيراتها من خلال رسائل التقرير التي ترسل بشكل دوري من العقد إلى المتحكم وتحتوي معلومات حول العقدة، بالتالي سيتم في الخطوة الأولى لتحديد طوبولوجيا الشبكة من قبل المتحكم استقبال رسائل التقرير (report). يمثل الجدول (1) شكل رسالة التقرير

جدول (1) رسالة التقرير [13]

Byte	Name	Description
0-9	Header	SDN-WISE Packet header
10	Distance	Distance from the sink in no. of hops
11	Battery	Battery level. Full = 0xFF, Empty = 0x00
12	NeighborsSize	The no. of nodes in the neighbors' list
13-14	NeighborAddress 1	Address of the 1st neighbor in the list
15	LinkQuality 1	Rssi between the 1st neighbor and the source
...-	NeighborAddress n	Address of the n-th neighbor in the list
..	LinkQuality n	Rssi between the n-th neighbor and the source

تحتوي هذه الرسالة على قائمة العقد التي تبعد قفزة واحدة عن العقدة المصدر، بحيث يكون لكل حزمة تقرير 35 عقدة جارة كحد أقصى. يتم توجيه هذه الحزمة بشكل افتراضي إلى عقدة المجمع للعقدة المستقبلية ومنها إلى المتحكم. تعتبر الـ RSSI (Received Signal Strength Indicator) مؤشر جودة للرابط بين العقدة المصدر والعقد في لائحة الجيران (Neighbor list). تمثل البايتات 0-9 ترويسة sd-wise، يمثل الشكل (1) حقول ترويسة sd-wise [14]



الشكل (1) ترويسة SD-WISE [14]

- يحدد النطاق (Scope) مجموعة من وحدات التحكم التي أبدت اهتمامًا بمحتوى الحزمة. يتم تعيين قيمة النطاق مبدئيًا على 0 (افتراضيًا) ولكن يمكن تعديلها من خلال الإدخالات المناسبة في جدول تدفق WISE لعقدة الحساس التي تولد الحزمة.
- يستخدم العلم U لتمييز الحزم التي يجب تسليمها إلى أقرب حوض.
- يتم استخدام نوع حقل الحزمة (Type) للتمييز بين أنواع الرسائل المختلفة إلى جانب حزم البيانات، حيث تعطى حزمة التقرير Type= 2

• معرف الخطوة التالية (Next Hope ID) هو الحقل الذي يجب تقديمه في مصفوفة المعارف المقبولة حتى تتم معالجة الحزمة بشكل أكبر بواسطة عقدة المستشعر [14].
يتم قراءة رسالة التقرير عند وصولها إلى المتحكم في طبقة (WISE VISOR) والتي تعد مسؤولة عن تشكيل النظرة العامة لحالة العقد والمسارات في طبقة البيانات وبالتالي يحدد المتحكم عدد العقد الجارة لكل عقدة ويحدد مستوى الطاقة لكل عقدة موجودة ليستطيع إرسال القواعد المناسبة في رسالة الاستجابة وذلك حسب التطبيق المحدد في طبقة التطبيقات.

2- اختبار شروط اختيار العقد المجمعة في المتحكم:

تم اختيار العقدة (A) مثلا كعقدة مجمعة بالاعتماد على عاملين
1-2 **كلفة الوصلة (Link cost)** تم تحديدها في العقدة الذي على أنها المسافة بين العقدة (A) والعقدة التي سترسل إليها مقسوما على طاقة التشغيل المتبقية في هذه العقدة وفق العلاقة :
كلفة الوصلة = المسافة / الطاقة المتبقية

• تم اختيار متحكم يعتمد على الخوارزمية الأشهر في تحديد المسار الأقصر باتجاه عقدة المجمع وهي خوارزمية Dijkstra،

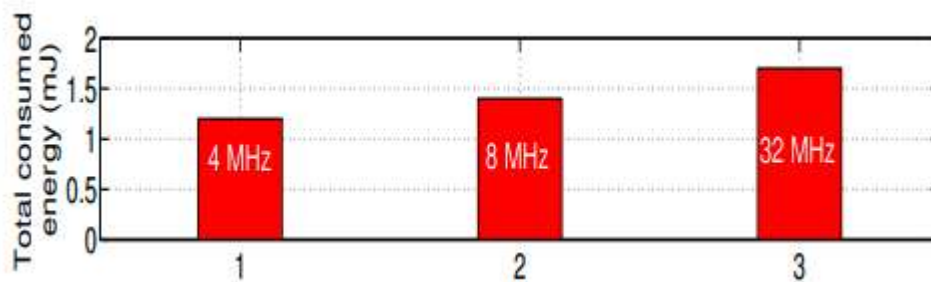
• تم تحديد الأوزان على أنها الطاقة المستهلكة التي تم تعيينها في العلاقة السابقة، بحيث يتم اختيار المسارات ذات الأوزان الأقل بالتالي ذات الطاقة المستهلكة الأقل أي العقد ذات المسارات الأقصر والطاقة المتبقية الأعلى.

• تكون المسافة معروفة من قبل المتحكم الذي يمتلك معرفة كاملة لطوبولوجيا الشبكة.
• تحتوي رسالة التقرير على مستوى طاقة التشغيل للعقدة والتي تحدد مدة حياة العقدة ويتم حساب طاقة تشغيل عقدة الحساس بالمعادلة (1) [15]:

$$E_{MCU} = P_{ON}(f_{MCU}) \cdot T_{MCU}(f_{MCU}) \quad (1)$$

✓ حيث $P_{ON}(f_{MCU})$ هي الطاقة المستهلكة بواسطة المتحكم الصغري الخاص بالعقدة الذي يعتمد على تردد وحدة التحكم الدقيقة f_{MCU} ومدة الاستيقاظ، على التوالي

ويوضح الشكل (2) تغير الطاقة المستهلكة مع تغير التردد [15]

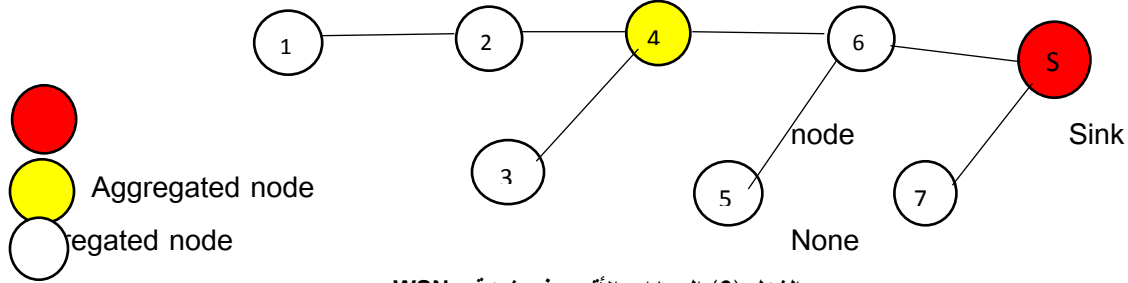


الشكل (2) تغير الطاقة المستهلكة مع تغير التردد [15]

2-2 عدد المسارات التي تحتوي العقدة

يتم بناء على علاقة كلفة الوصلة التي تضبط الأوزان في خوارزمية Dijkstra التي يتم تنفيذها ضمن المتحكم تحديد المسارات الأقصر باتجاه عقدة (Sink)، وعليه يقوم المتحكم بتحديد العقد المجمعة بناء على عدد المسارات التي تحتوي هذه العقدة، وبمعنى آخر فإن العقدة التي تتواجد في عدد مسارات أكبر من عتبة معينة ستعتبر عقدة مجمعة.

سنقدم في الشكل (3) مثالا عن طوبولوجيا شبكة حساسات لاسلكية تم اختيار المسار الأقصر فيها وسيتم توضيح الطريقة المقترحة في تحديد العقد المجمعة



الشكل (3) المسارات الأقصر في شبكة WSN

حيث: 1,2,3,4,5,6,7 أرقام العقد ضمن الشبكة

✓ تحديد المسارات الأقصر إلى عقدة المجمع (S) لكل عقدة ضمن الشبكة وبناء على الشكل (3) فإن المسارات هي:

جدول (2) المسارات الأقصر من العقد إلى SINK

From node	To node	The shortest link
1	Sink (S)	(2,4,6,S)
2	Sink (S)	(4,6,S)
3	Sink (S)	(4,6,S)
4	Sink (S)	(6,S)
5	Sink (S)	(6,S)
6	Sink (S)	(-,S)
7	Sink (S)	(-,S)

✓ قمنا باختيار عتبة المقارنة في شرط اختيار العقدة المجمعة على الشكل الآتي

$$\text{Node } X \text{ is aggregated node if } LN_X \geq 3$$

LN : عدد المسارات التي تحتوي العقدة X

وبناء على الشرط السابق سيتم اختيار العقدة 4 كعقدة مجمعة ولن يتم اختيار العقدة 6 أيضا لأنه بعد اختيار العقدة 4

كعقدة مجمعة ستكون عدد المسارات التي تحتوي العقدة 6 هما مسارين فقط

بالتالي يقوم المتحكم بناء على الخوارزمية السابقة باختيار العقدة المجمعة، ثم سيقوم بنشر القواعد ضمن طبقة البيانات لضبط آلية عمل العقد المجمعة.

3- نشر القواعد ضمن الشبكة:

كما أوضحنا سابقا فقد قمنا باختيار منصة (SD-WISE) لتطبيق تقنية SDN في شبكة الحساسات اللاسلكية وبالتالي سيتم نشر القواعد عن طريق (WISE FLOW TABLE) حيث يتألف جدول التدفق من قواعد مطابقة

(Matching rules) و أفعال (Actions) و إحصائيات (Statistics)، وكان من المستحيل تحقيق المطلوب باستخدام الحلول التقليدية التي تشبه OpenFlow، للأسباب التالية :

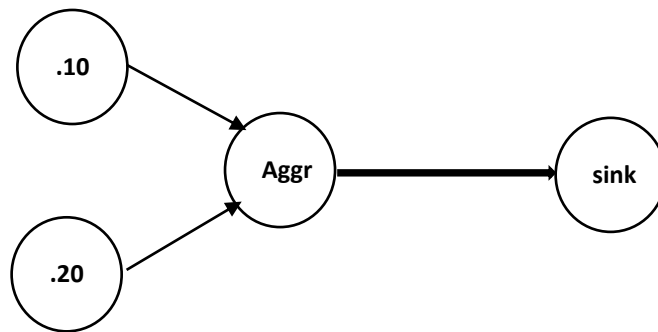
☒ يتم تنفيذ المطابقة فقط للتحقق من أن التوافق بين حقل في ترويسة الرزمة وقيمة محددة، أي أنه ليس من الممكن النظر إلى البيانات (Data) والعلاقات من النوع "أعلى من" مثلاً غير مدعومة

☒ من المستحيل جعل التعامل مع الرزمة يعتمد على محتوى رزمة أخرى في الحلول عديمة الحالة (stateless) [14]

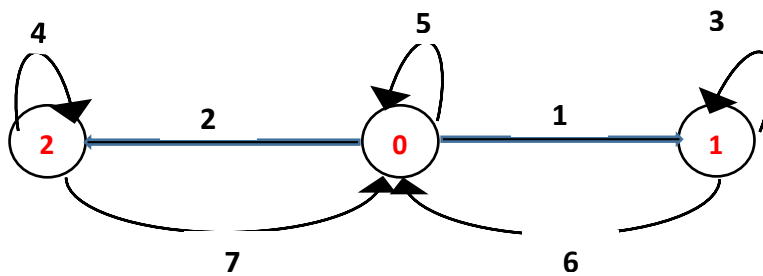
3-1 كيفية تنفيذ FSM [14]

تتبع FSM الحالة الحالية ، وقائمة انتقالات الحالة الصالحة. يمكن تحديد كل انتقال عن طريق تحديد:

- FromState - حالة البداية لهذا الانتقال
 - ToState - الحالة النهائية لهذا الانتقال
 - الشرط - قابل للاستدعاء والذي عند إرجاعه صحيح يعني أن هذا الانتقال صالح
 - رد الاتصال - وظيفة اختيارية قابلة للاستدعاء يتم استدعاؤها عند تنفيذ هذا الانتقال
- يوضح الشكل (4) إرسال عقدتين بعناوين (.10) و (.20) إلى العقدة المجمعة (Aggr) ومنها إلى المجمع الرئيس (Sink)، ليتم شرح آلية تنفيذ الحالات لتحديد عمل العقد المجمعة عن طريق جدول التدفق الخاص بهذه الحالة، في حين يمثل الشكل (5) تنفيذ مخطط آلة الحالة المنتهية (Finite State Machine) الذي يعبر عن عملية التجميع لعقدتي حساس في الشكل (4)



الشكل (4) تجميع بيانات من عقدتين في شبكة WSN



الشكل (5) تنفيذ مخطط آلة الحالة المنتهية (Finite State Machine)

يمثل الشكل (5) عملية الانتقال بين ثلاث حالات (0,1,2) تبعا لشروط معينة بالتجميع تم ضبطها وتعيينها في المتحكم وهي متعلقة باستقبال الرزم من العقدتين (.10) و (.20) حيث تتم آلية العمل كالاتي

1. استقبال العقدة المجمع رسالة من العقدة (.10) وهي في ال state0 ويكون الفعل تخزين الرسالة القادمة والانتقال إلى state1
2. استقبال العقدة المجمع رسالة من العقدة (.20) وهي في ال state0 ويكون الفعل تخزين الرسالة القادمة والانتقال إلى state2
3. استقبال العقدة المجمع رسالة من العقدة (.10) وهي في ال state1 ويكون الفعل إرسال ما تم تخزينه وتخزين الرزمة الجديدة
4. استقبال العقدة المجمع رسالة من العقدة (.20) وهي في ال state2 ويكون الفعل إرسال ما تم تخزينه وتخزين الرزمة الجديدة
5. ارسال الرسالة الخاصة بالعقدة المجمع وهي تتم بشكل دوري عند انتهاء زمن فرضناه 1sec
6. استقبال العقدة المجمع رسالة من العقدة (.20) وهي في ال state 1 أو ارسال الرسالة الخاصة بالعقدة المجمع ويكون الفعل إرسال ما تم تخزينه والانتقال إلى State 0
7. استقبال العقدة المجمع رسالة من العقدة (.10) وهي في ال state 2 أو ارسال الرسالة الخاصة بالعقدة المجمع ويكون الفعل إرسال ما تم تخزينه والانتقال إلى State 0

حيث يمثل الجدول الآتي جدول التدفق الممثل للحالات السابقة :

ملاحظة : تم الاعتماد في إظهار نتائج نشر القواعد ضمن جدول تدفقي على شكل الجدول التدفقي (wise flow table) المستند إلى المرجع [14].

4- علاقتي الطاقة المستهلكة الارسال والاستقبال

أ- طاقة المستهلكة في الارسال : الطاقة التي تستهلكها العقدة في ارسال (n) بت لمسافة (d) [16]

جدول (3) جدول التدفق

Matching rule					Matching rule					Action			Statistics			
Op	Size	S	Ad	value	Op	Size	S	Ad	value	Type	M	S	Ad	value	TTL	Counter
=	-	1	-	.10	=	-	1	-	0	Store	1	1	-	Data	100	20
=	-	1	-	.10	=	-	1	-	0	Modify	0	1	-	1	100	23
=	-	1	-	.20	=	-	1	-	0	Store	1	1	-	Data	80	100
=	-	1	-	.20	=	-	1	-	0	Modify	0	1	-	2	80	40
=	-	1	-	.10	=	-	1	-	1	Send to INPP	1	1	-	Agg	100	140
=	-	1	-	.10	=	-	1	-	1	Store	0	1	-	Data	100	111
=	-	1	-	.20	=	-	1	-	2	Send to INPP	1	1	-	Agg	80	142
=	-	1	-	.20	=	-	1	-	2	Store	0	1	-	Data	80	64
=	-	1	-	.20	=	-	1	-	1	Send to INPP	1	1	-	Agg	80	139
=	-	1	-	.20	=	-	1	-	1	Modify	0	1	-	0	80	44
=	-	1	-	.10	=	-	1	-	2	Send to INPP	1	1	-	Agg	100	150
=	-	1	-	.10	=	-	1	-	2	Modify	0	1	-	0	100	50

$$e_{tx}(n, d) = e_{elec} n + e_{amp} n d^2 \quad (3)$$

ب- الطاقة المستهلكة في الاستقبال : الطاقة التي تستهلكها العقدة عند استقبال (n) [16]

$$e_{rx}(n) = e_{elec} n \quad (4)$$

حيث $e_{elec} = 50 \text{ nJ/bit}$ و $e_{amp} = 10 \text{ Pj/bit/m}^2$

وبالتالي فإن الطاقة المستهلكة في العقدة هي مجموع الطاقة المستهلكة في الإرسال والاستقبال.

سيناريو العمل:

قمنا بتنفيذ المحاكاة في محاكي الشبكات COOJA 2.7، قمنا بتنفيذ نموذجين لشبكتين مختلفتين بحجم 11 عقدة للشبكة الأولى، و 31 عقدة للشبكة الثانية، وتخصيص عقدة مجمع واحدة في كل شبكة، حيث تم توزيع هذه العقد بشكل مختلف عند كل تنفيذ للمحاكاة.

تم جعل إرسال حزم البيانات بشكل عشوائي حيث تم إرسال 100 حزمة بيانات لكل عقدة ضمن الشبكة وتم إعطاء طاقة إجمالية لكل عقدة تساوي مجموع طاقة الإرسال والاستقبال ل 100 حزمة بيانات مضروبة بعدد العقد الكلي ضمن الشبكة ليتم حساب الطاقة كنسبة مئوية بالنسبة للطاقة الكلية.

تم إرسال رسائل تقرير من العقد إلى المتحكم عند كل حدث في الشبكة الذي بدوره يقوم بتشكيل القواعد بناء على الرسائل الواردة وإرسالها على شكل جداول توجيه إلى العقد.

تم الاعتماد على الفرضيات الآتية:

1- عقدة المجمع (Sink) ثابتة

2- عقد الحساس في كل مرة محاكاة ذات مواقع ثابتة

3- متحكم واحد (Controller) يملك نظرة عامة عن الشبكة

4- تمتلك العقد مساحة تخزين كافية لتخزين البيانات المجمعة

تم ضبط بارامترات عمل الشبكة وفق القيم المبينة في الجدول (4)

الجدول (4) بارامترات عمل الشبكة باستخدام COOJA

البارامتر	القيمة
مساحة الشبكة	200*200 ، 100*100
عدد عقد الحساس	31 ، 11
e_{elec}	10pJ/bit/m ²
e_{amp}	50 nJ/bit
معدل التجميع	20%
زمن استقرار الشبكة	60 sec
عدد حزم البيانات المرسل من كل عقدة	100 packets
زمن المحاكاة	180 sec
حجم ترويسة الحزمة المرسل	47 Byte
حجم حمولة الحزمة المرسل	24 byte

النتائج والمناقشة:

تم تقييم أداء الخوارزمية المقترحة من خلال تغيير عدد العقد ومواقعها، وتم إجراء المحاكاة في بيئة COOJA ومقارنة النتائج من حيث الطاقة المستهلكة قبل تطبيق خوارزمية التجميع وبعد تطبيقها.

الطاقة المستهلكة في العقدة: تم وضع هذا المعيار والذي يعبر في مقالتنا عن مجموع الطاقة المستهلكة في الإرسال والاستقبال بناء على العلاقات (3) و (4)، حيث تم إجراء المحاكاة مع تغيير في عدد ومواقع العقد (11 عقدة، 31 عقدة) ويتوزع عشوائي في كلتا الحالتين، حيث نلاحظ من نتائج المحاكاة التقليل الكبير في الطاقة المستهلكة بعد التجميع (EN) مقارنة مع الطاقة المستهلكة قبل التجميع (OEN)، كما يتبين لدينا أن زيادة عدد العقد لم تؤدي إلى زيادة استهلاك الطاقة كما في الشبكات التقليدية وذلك بسبب الاعتماد على تطبيق تقنية SDN.

من خلال الأشكال (6)، (7)، (8)، (9) يتبين لنا تحديد نوع العقدة فيما إذا كانت مجموعة Type= 1 أو غير مجموعة Type= 0، ونلاحظ في بعض الحالات انتقال العقدة من مجموعة إلى غير مجموعة وذلك بسبب ورود رسائل التقرير على المتحكم حسب الحدث، وبالتالي إرسال القاعد بناء على هذه الأحداث من المتحكم إلى العقد، ويمثل nxhCT عدد العقد التي تعتمد على العقدة المحددة ضمن مسارها باتجاه الـ SINK، قمنا بتحديد معدل تجميع 20 % لأخذ النتائج تبعاً له.

الشبكة الأولى (11) عقدة: تم نشر العقد بتوزع عشوائي وحساب التحسين في استهلاك الطاقة قبل وبعد تطبيق الخوارزمية المقترحة

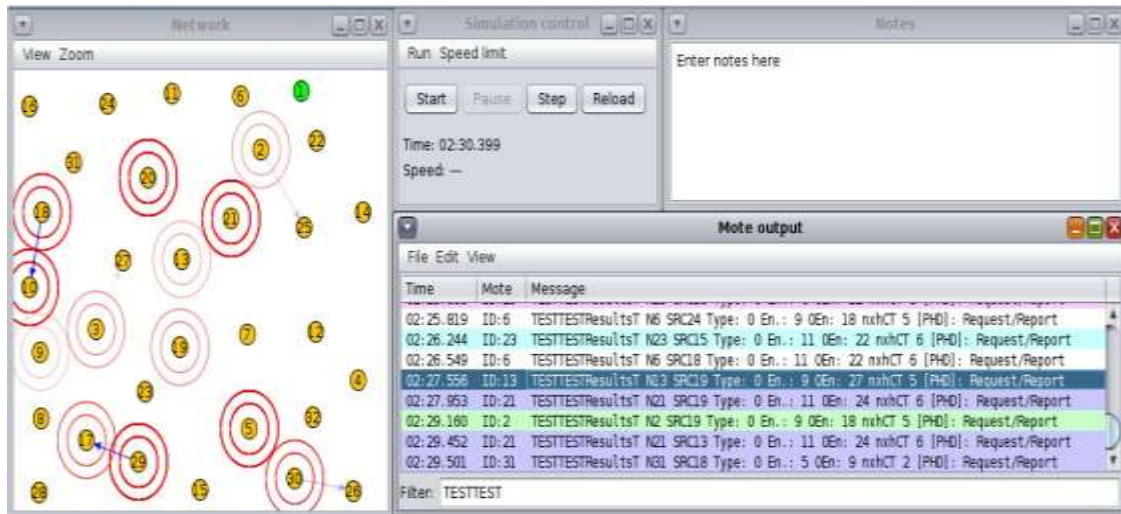


الشكل (6) شبكة بعدد عقد 11

جدول (5) نتائج محاكاة الشبكة الأولى

EN%	OEN%	نوع العقدة	رقم العقدة
15	25	0	3
15	25	0	11
31	62	1	5
15	25	0	4

الشبكة الثانية (31) عقدة



الشكل (7) شبكة بعدد عقد 31

جدول (6) نتائج محاكاة الشبكة الثانية

%EN	%OEN	نوع العقدة	رقم العقدة
12	25	1	19
9	24	0	21
9	18	0	6
9	18	0	2
5	9	0	22
6	12	0	29

الاستنتاجات والتوصيات:

- بينت النتائج ان تطبيق خوارزمية التجميع باستخدام تقنية (SDN) حسنت بشكل كبير من استهلاك الطاقة.
- اتضح من خلال النتائج أن ازدياد عدد العقد لم يؤثر في الحفاظ على الطاقة بعد تطبيق الخوارزمية وخاصة في العقد القريبة من المجمع والتي كانت تعاني من استهلاك طاقة كبيرة جدا في شبكات الحساسات اللاسلكية التقليدية.
- نلاحظ أن الخوارزمية المقترحة قلل من استهلاك الطاقة ليس فقط في العقد المجمعة بل في عقد الشبكة كاملة وذلك بسبب الاعتماد على تقنية الشبكات المعرفة بالبرمجيات (SDN).
- نقترح في الدراسات المستقبلية تطبيق عمليات على البيانات عند تجميعها، إضافة إلى الاعتماد على عدة تطبيقات في شبكة واحدة ليتضح الأثر الواضح لتقنية (SDN).

References:

1. Prashant Tiwari¹ , Varun Prakash Saxena² , Raj Gaurav Mishra³ , Devendra Bhavsar⁴. Wireless Sensor Networks: Introduction, Advantages, Applications and Research Challenges.2015

2. Onika G. Ghorale, Prof. A. O. Bang. Wireless Ad-Hoc Networks: Types, Applications, Security GoalsMs .2015
3. Tie Luo, Hwee-Pink Tan, and Tony Q. S. Quek. Sensor OpenFlow: Enabling Software-Defined Wireless Sensor Networks .2012
4. Habib Mostafaei and Michael Menth. Software-Defined Wireless Sensor Networks: A Survey.2018
5. Duc Tai Le, Taewoo Lee and Hyunseung Choo. Delay-aware tree construction and scheduling for data aggregation in duty-cycled wireless sensor networks.2018
6. T. -Y. Tsai, W.-C. Lan, C. Liu, and M.-T. Sun, "Distributed compressive data aggregation in large-scale wireless sensor networks," J. Adv. Comput. Netw., vol. 1, no. 4, pp. 295–300, Dec. 2013
7. L. Karim and M. S. Al-kahtani, "Sensor data aggregation in a multi-layer big data framework," in Proc. Inf. Technol., Electron. Mobile Commun. Conf. (IEMCON), Oct. 2016.
8. S. Luo, H. Yu, and L. Li, "Practical flow table aggregation in SDN," Computer Networks, vol. 92, pp. 72-88, 2015.
9. X. Zhang, Z. Cheng, R. Lin, L. He, S. Yu, and H. Luo, "Local Fast Reroute With Flow Aggregation in Software Defined Networks," IEEE Communications Letters, vol. 21, no. 4, pp. 785-788, 2017.
10. M. Malboubi, L. Wang, C.-N. Chuah, and P. Sharma, "Intelligent sdn based traffic (de) aggregation and measurement paradigm (istamp)," 2014.
11. K. Mizuyama, Y. Taenaka, and K. Tsukamoto, "Estimation based adaptable Flow Aggregation Method for reducing control traffic on Software Defined wireless Networks," in Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops), 2017 IEEE International Conference on, 2017.
12. R. Friedman and D. Sainz, "An Architecture for SDN Based Sensor Networks," in Proceedings of the 18th International Conference on Distributed Computing and Networking, 2017.
13. <https://sdnwiselab.github.io/docs/guides/Core.html>.
14. Laura Galluccio*, Sebastiano Milardo†, Giacomo Morabito*, Sergio Palazzo. SDN-WISE: Design, prototyping and experimentation of a stateful SDN solution for Wireless Sensor networks.2015
15. Taoufik Bouguera 1,2,* , Jean-François Diouris 1 , Jean-Jacques Chaillout 2 , Randa Jaouadi 3 and Guillaume Andrieux Energy Consumption Model for Sensor Nodes Based on LoRa and LoRaWAN.2018.
16. Suber Halder. Sipra Dasbit. Amira GHosal. A Probability Density Function for Energy-Balanced Lifetime-Enhancing Node Deployment in WSN. 2011