

تصميم المسار الأقصر المتكيف لعقدة المصب المتحركة في شبكات الحساسات اللاسلكية

د.جمال خليفة*

صفوان سليمان قاسم**

(تاريخ الإيداع 3 / 6 / 2020 . قبل للنشر 23 / 12 / 2020)

□ الملخص □

تتكون شبكة الحساسات اللاسلكية من مجموعة من العقد الحساسة الصغيرة، ذاتية التغذية، والتي تقوم بالتحسس للتغيرات الفيزيائية في الوسط المحيط، وتقوم بنقل هذه التغيرات لاسلكياً إلى عقدة المصب، والتي يمكن أن تكون ثابتة أو متحركة. تملك شبكات الحساسات اللاسلكية ذات عقدة مصب متحركة مزايا عديدة تجعلها أفضل من نظيرتها ذات عقدة مصب ثابتة منها زيادة الإنتاجية وتقليل التأخير وزيادة عمر الشبكة. بسبب الطاقة المحدودة للعقد الحساسة في الشبكة ظهرت مشاكل استهلاك الطاقة وزيادة نسبة استقبال الرزم إضافة لنوعية هذه الرزم والتي من الممكن أن تكون بيانات ذات أهمية قصوى يجب إرسالها بالسرعة الممكنة . في هذا البحث سنقوم باقتراح خوارزمية لتعديل حركة عقدة المصب حيث ستتحرك عقدة المصب نحو العقدة التي لديها بيانات هامة وبأقصر مسار (للتقليل من التأخير وزيادة نسبة استلام الرزم) دون خسارة أي بيانات عادية، قمنا بإجراء عملية المحاكاة ومقارنتها مع خوارزميات سابقة.

الكلمات المفتاحية: شبكة حساسات لاسلكية، مصب متحرك، التأخير، نسبة استلام الرزم.

*أستاذ-قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.
** طالب دراسات عليا (دكتوراة)- قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية .

Adaptive shortest path design for mobile sink in wireless sensor network

Dr. Jamal Khalifah*
Safwan Kasem**

(Received 3 / 6 / 2020 . Accepted 23 / 12 / 2020)

□ ABSTRACT □

The wireless sensor networks consist of tiny and self energy, sensor nodes, that sense to physical changes in the surrounding medium, and send the sensed data to the sink node through wireless connection. Sink node maybe a mobile node or a static node. the wireless sensor networks with mobile sink have many advantages that make it better to use, some of these advantages are increasing throughput, decreasing end-to- end delay and prolonging network life time. Due to the restricted energy in the sensor nodes, some of problems appear such as: energy consuming and increasing received data packets that maybe are important data and must be send as fast as possible.

In this paper we will suggest a new algorithm that modifies sink mobility and makes it moves to the sensor node that has important data in shortest path without losing any normal data, simulation has done and we compared the results with previous algorithms.

Key words: wireless sensor networks, mobile sink, end-to-end delay, throughput.

* Professor, Department of Communication and Electronics, Faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**Ph.D student, Department of Communication and Electronics, Faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

مقدمة:

دخلت شبكات الحساسات اللاسلكية مختلف مجالات الحياة الصناعية والزراعية والصحية بالإضافة لإمكانية عملها داخل مناطق خطرة على الإنسان كقطاعات النفط والغاز والمعامل [1,2].

تقدم عقدة المصب المتحركة تغطية أكبر للعقد الحساسة مما يعني إمكانية الوصول إلى أغلب العقد (إن لم يكن جميعها) وبالتالي زيادة نسبة استلام الرزم [3] والتقليل من التأخير ومن استهلاك الطاقة في العقد الحساسة مما يعني زيادة عمر الشبكة وتلافي مشكلة حدوث ثغوب في الشبكة.

إن تحرك عقدة المصب وفق أقصر مسار يعني استهلاك أقل للطاقة ضمن عقدة المصب إضافة لتقليل التأخير في استلام الرزم وهو أمر هام جداً عندما يكون هناك حاجة لاستلام الرزم بأقل تأخير ممكن.

تتحدد البارامترات الهامة في شبكات الحساسات اللاسلكية وفق التطبيق المستخدم إلا أن التأخير وزيادة نسبة استلام الرزم (الإنتاجية) هي بارامترات هامة ومشتركة في أغلب التطبيقات لما لها من تأثير على باقي البارامترات كتخفيف استهلاك الطاقة وزيادة عمر الشبكة ككل.

في بحثنا هذا سنناقش وجود بيانات ذات أهمية قصوى تحتاج إلى إرسال لكن دون حدوث خسارات في رزم البيانات العادية، وسنقدم خوارزمية للوصول إلى هذا الهدف بأقل تأخير ممكن عبر تحريك عقدة المصب بأقصر مسار ممكن، مما يعني أيضاً التخفيف من استهلاك الطاقة ضمن عقدة المصب، إضافة إلى أنه عندما يكون الاتصال عبر قفزة واحدة من العقدة الحساسة إلى عقدة المصب فإن هذا يعني الحفاظ على طاقة العقد الحساسة أيضاً.

قسّمت الدراسة وفق الآتي: تستعرض الفقرة (2) بعض الدراسات المرجعية الحديثة ومنها دراسة قمنا بها ونشرنا، وتأتي هذه الدراسة استكمالاً لها.

نشرح في الفقرة (3) الخوارزمية المقترحة بشكل مفصل، وفي الفقرة (4) نعرض بارامترات المحاكاة والنتائج التي حصلنا عليها، أما الفقرة (5) فكانت للتوصيات.

أهمية البحث وأهدافه:

نظراً للدور الإيجابي الذي تلعبه الحساسات اللاسلكية في مجالات الحياة، فقد ازداد اهتمام الباحثين بتحسين أداء هذه الشبكات، يهدف هذا البحث إلى ضمان استلام البيانات ذات الأهمية البالغة دون التقريب بالبيانات العادية مع الحفاظ على التأخير بأدنى المستويات، وزيادة نسبة استلام الرزم ككل، مما يعني تحسين أداء شبكة الحساسات اللاسلكية.

طرائق البحث وموارده:

درس هذا البحث شبكة حساسات لاسلكية ذات عقدة مصب متحركة واحدة فقط، قسمت الشبكة إلى شبكات أصغر (مربعات). استخدمنا محاكي الشبكات NS2 مفتوح المصدر نسخة 2.35 يعمل على بيئة لينكس، يستخدم هذا المحاكي على نطاق واسع في الأبحاث المنشورة عالمياً كما أن الدراسات السابقة استخدمته، استخدمنا نفس المحاكي ومقارنة النتائج.

1. الدراسات المرجعية:

أجريت الكثير من الدراسات حول حركة عقدة المصب اهتم أغلبها بجمع البيانات العادية عبر الاتصال متعدد القفزات من العقد الحساسة إلى عقدة المصب المتحركة بمسار محدد مسبقاً [4,5,6]. قامت الدراسة [7] بتعديل حركة عقدة المصب لتذهب نحو العقد التي لديها حمل أكبر في الشبكة وذلك لتقليل الطاقة المستهلكة وتجنب موت هذه العقد الحساسة ولم تهتم لوجود بيانات ذات أهمية عالية. اختارت الدراسة [8] مواقع محددة تزورها عقدة المصب المتحركة بناء على كثافة الطاقة حول هذه العقد، حيث تقوم عقدة المصب بزيارة المناطق ذات كثافة الطاقة الأقل أولاً.

قَسَمَت الدراسة [9] الشبكة إلى عناقيد لكل عنقود قائد يملك أعلى مستوى طاقة في العنقود، ثم قامت بتوجيه عقدة المصب حسب نظرية (مستعمرة النحل) والتي توجه عقدة المصب المتحركة نحو مناطق تملك احتمالاً عالياً لوجود البيانات.

على الرغم من تنوع الطرائق في تعديل حركة عقدة المصب وتوجيهها بناءً على بارامترات معينة في الدراسات السابقة إلا أنها لم تهتم لوجود بيانات ذات أهمية عالية في الشبكة.

أجرت الدراسة [10] عملية حسابية لإيجاد أقصر مسار بين عقدة المصب والعقدة الحساسة بناءً على إحداثيات عقدة المصب المتحركة والعقدة الحساسة عبر طرح الإحداثيات، لكن لم تجد الدراسة الزاوية التي ستتحرك بها عقدة المصب ولم تناقش وجود بيانات ذات أهمية في الشبكة.

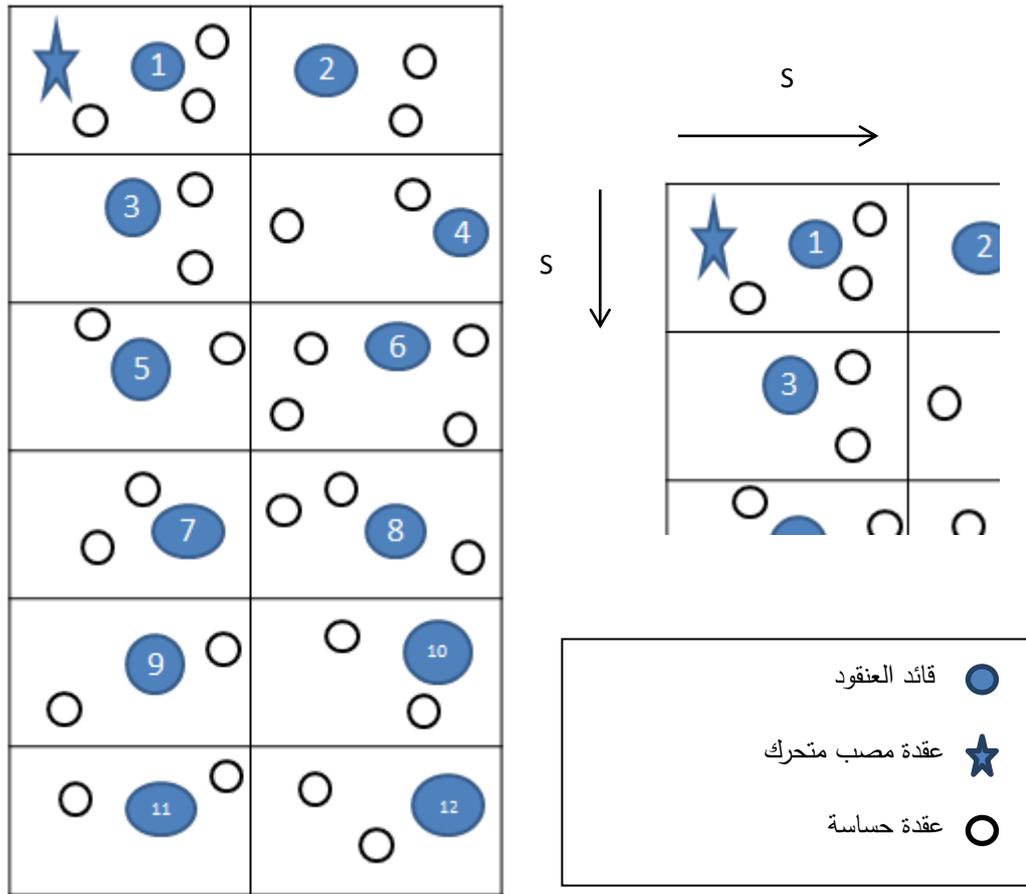
ناقشت الدراسة [11] وجود بيانات ذات أهمية في الشبكة حيث قَسَمَت الشبكة إلى مربعات لكل مربع قائد عنقود (الأعلى طاقة)، تتحرك عقدة المصب وفق مسار محدد مسبقاً (في حالة جمع البيانات الطبيعية)، وعند ورود رسالة طلب لإرسال البيانات ستقوم عقدة المصب بالتحرك نحو المربع الذي يحوي العقدة التي ولدت الطلب، وتتحرك وفق المسار المحدد مسبقاً دون الوقوف عند أي عقدة في طريقها حتى الوصول إلى المربع المنشود وهي تطوير لدراسة سابقة [12].

سنقوم ببحثنا بإيجاد أقصر مسار (مستقيم وزاوية) لتتحرك وفقه عقدة المصب نحو المربع الذي يحوي العقدة التي تملك البيانات الهامة دون المرور (بالضرورة) على المربعات التي تتوسط مكان عقدة المصب لحظه ورود رسالة الطلب والعقدة الحساسة، كما سنناقش فكرة ورود طلبين لاستقبال بيانات هامة يصلان بنفس الوقت إلى عقدة المصب المتحركة.

2. الخوارزمية المقترحة:

تقوم الخوارزمية بجعل عقدة المصب المتحركة تتوجه نحو العقدة الحساسة ذات البيانات الهامة بأقصر مسار بعد كسر مسارها المسبق، إذاً يوجد مسار محدد مسبقاً في الحالة الطبيعية (بيانات عادية).

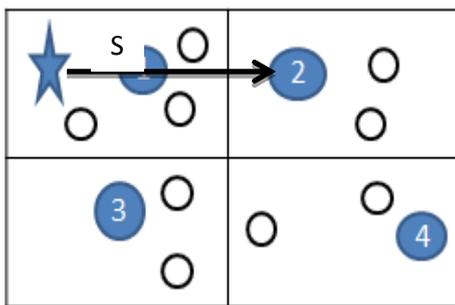
تقسم الشبكة طولياً إلى عمودين وعدة أسطر، يوضح الشكل (1) مبدأ تقسيم الشبكة:



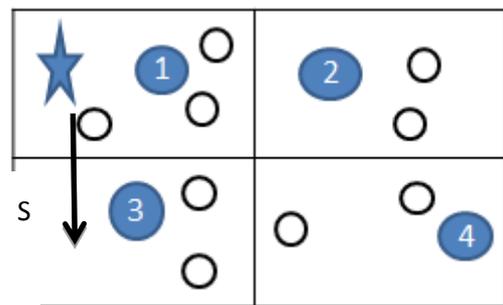
الشكل (1): تقسيم الشبكة وأبعادها.

تتحرك عقدة المصعب بشكل متتالي من المربع ذو الرقم (1) إلى المربع ذو الرقم (2) ثم الانتقال إلى السطر الثاني وهكذا... عندما تتحسس عقدة حساسة لبيانات ذات أهمية كبرى ستتحرك عقدة المصعب نحو المربع الذي يحوي قائد العنقود الذي أتى منه طلب لإرسال بيانات هامة وفق أقصر مسار. إذا كانت العقدة الحساسة التي تملك البيانات الهامة ضمن نفس السطر ← ستتحرك عقدة المصعب مسافة وقدرها S وبزاوية 0 درجة، كما في الشكل (2-أ).

إذا كان رقم قائد العنقود فردي و يقع في السطر التالي لموقع عقدة المصعب ← ستتحرك عقدة المصعب مسافة وقدرها S وبزاوية 90 درجة، كما في الشكل (2-ب)



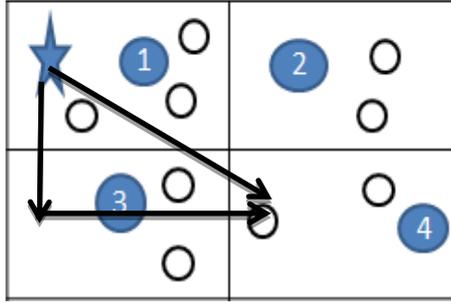
أ-



ب-

الشكل (2): حركة عقدة المصعب

في حال كان رقم قائد العنقود زوجي (مثلاً 4) ويقع في السطر التالي لموقع عقدة المصب وبحسب فيثاغورث نحسب أقصر مسار بين عقدة المصب المتحركة والمربع المطلوب ويوضح الشكل (3) ذلك.



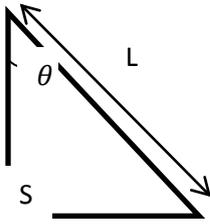
الشكل (3): أقصر مسار بين عقدة المصب والمربع 4

طول الوتر هو أقصر مسافة للوصول إلى المربع الذي يحوي العقدة الحساسة :

$$SL = \sqrt[2]{2} S$$

والزاوية ستكون 45 درجة لأن المثلث متساوي الساقين،

كما هو موضح بالشكل (4).

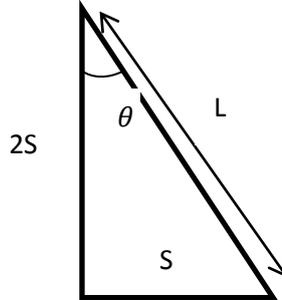


الشكل (4): المثلث القائم متساوي الساقين .

كقاعدة عندما يكون رقم المربع الذي أتى منه طلب إرسال البيانات فردي ← ستتحرك عقدة المصب

بزاوية 90 درجة و بمسافة X.S حيث X هو رقم صحيح يشير إلى الفرق بين رقم سطر موقع العقدة الحالية و رقم سطر العقدة الحساسة. ذكرنا سابقاً احتمالين لكون العقدة الحساسة تنتمي إلى مربع ذو رقم زوجي وهاتين الحالتين هما أن تكون ضمن نفس السطر أو السطر الذي يلي السطر الذي توجد فيه عقدة المصب.

في حال كانت ذات رقم فردي و تنتمي للسطر الثالث سيكون لدينا شكل مثلث ذو أبعاد موضحة بالشكل (5)



$$SL = \sqrt[2]{5} S$$

$$\theta = \sin^{-1} \frac{1}{\sqrt[2]{5}}$$

$$\text{لأن } \sin \theta = \frac{S}{\sqrt[2]{5} S}$$

الشكل (5): المثلث المشكّل لدينا في حال كان الفرق سطرين

في حال كانت ذات رقم فردي وتنتمي للسطر الرابع والعقدة في السطر الأول أي الفرق بينهم 3 أسطر :

$$L = \sqrt[2]{10} S \text{ و } \theta = \sin^{-1} \frac{1}{\sqrt[2]{10}}$$

في حال كان الفرق 4 أسطر :

$$L = \sqrt[2]{17} S \text{ و } \theta = \sin^{-1} \frac{1}{\sqrt[2]{17}}$$

وفي حال كان الفرق 5 أسطر :

$$L = \sqrt[2]{26} S \text{ و } \theta = \sin^{-1} \frac{1}{\sqrt[2]{26}}$$

بإجراء استقراء رياضي فإن أقصر مسافة تكون :

$$L = \sqrt[2]{2 + n} S$$

وبنفس الطريقة نحسب n، ولحساب الزاوية كي تتحرك فيها عقدة المصب عن طريق المعادلة العامة

التالية:

$$\theta = \sin^{-1} \frac{1}{\sqrt[2]{2+n}}$$

حيث n رقم صحيح ولحساب n نقوم بتشكيل مجموعتين المجموعة A هي أرقام الأسطر والمجموعة B هي مجموعة أرقام فردية تبدأ من 3 ويبين الجدول (1) المجموعتين (A,B).

الجدول (1): المجموعتين (A,B):

A	B
3	3
4	5
5	7
6	9
7	11

تحسب n كما يلي :

إذا كانت العقدة في السطر الرابع وعقدة المصب في الأول أي أن المسافة هي 3 وما يقابل السطر الرابع من المجموعة B هي الرقم 5 نجمعه مع ما قبله فيكون الناتج 8 وهذه هي قيمة n. بالتعويض نلاحظ نفس النتيجة التي توصلنا إليها عن طريق حساب فيثاغورث.

وبنفس الطريقة نحسب n، ولحساب الزاوية كي تتحرك فيها عقدة المصب عن طريق المعادلة العامة

$$\text{التالية: } \sin^{-1} \frac{1}{\sqrt[2]{2+n}}$$

كما ذكرنا سابقاً يوجد مسار محدد مسبقاً لجمع البيانات في الحالات الطبيعية (بيانات عادية) حيث تقسم الشبكة إلى عدة أسطر وكل سطر إلى مربعين في كل مربع قائد عنقود (الأعلى طاقة) وعدد من العقدة الحساسة، تزور عقدة المصب المتحركة المربعات بالتتالي من الرقم 1 إلى الرقم 2 وهكذا حتى المربع الأخير. عند ورود رسالة طلب من عقدة حساسة في أحد المربعات ستحسب عقدة المصب أقرب مسار (مسافة، زاوية) للوصول إلى هذا المربع وجمع البيانات عبر اتصال قفزة واحدة.

لضمان وجود اتصال قفزة واحدة نختار البعد S على اعتبار نصف قطر الاتصال بين كل عقدتين وليكن

R

كما يلي :

$$S^2 + S^2 \leq R^2 \rightarrow 2S^2 \leq R^2 \rightarrow S \leq \frac{R}{\sqrt{2}}$$

أبعاد الشبكة الجزئية موضحة في الشكل (1).

ما سبق ذكره يفترض وجود عقدة المصب عند مربع ذو رقم فردي بالوقت الذي تصل فيه رسالة طلب لاستقبال بيانات هامة من إحدى عقد الشبكة التابعة لقائد عنقود (أو ما نسميه مربع للإشارة إلى جزء من الشبكة الذي يحوي بعض العقد الحساسة مع قائد العنقود)

في الحالة الأخرى وهي وجود عقدة المصب عند مربع ذو رقم زوجي في الوقت الذي تصل فيه رسالة لاستقبال بيانات من عقدة حساسة وهذه البيانات ذات أهمية قصوى نَمِيز الآتي:

(أ) - عندما تكون العقدة الحساسة (التي تريد إرسال البيانات إلى عقدة المصب) في نفس السطر ستتغير زاوية الحركة إلى 90° والمسافة لن تتغير لكن سيتغير اتجاهها وسنرمز له بـ S .

(ب) - عندما تكون العقدة في السطر اللاحق سنميز حالتين:

(ب-1) - العقدة الحساسة في مربع ذو رقم زوجي ← ستتحرك عقدة المصب بمسافة قدرها S وبزاوية قدرها 90° . ويمكننا ضرب n بـ S للتعبير عن الحالات التي تتضمن الأسطر اللاحقة.

(ب-2) - العقدة الحساسة في مربع ذو رقم فردي ← ستتحرك عقدة المصب بمسافة قدرها L $= \sqrt{2+n} S$ وسنرفقها بإشارة سالبة كون الحركة بالاتجاه المعاكس، وبزاوية قدرها $\sin^{-1} \frac{1}{\sqrt{2+n}}$ وأيضاً سنرفقها بإشارة سالبة.

وتحسب n كما في السابق.

مما سبق ذكره يمكننا جمع الحالتين بالآتي:

عندما يتشابه رقم المربع الذي تتواجد فيه عقدة المصب ورقم المربع الذي تتواجد فيه العقدة الحساسة (فردي، فردي أو زوجي، زوجي) ستتحرك عقدة المصب مسافة ns و الزاوية ستكون 90°

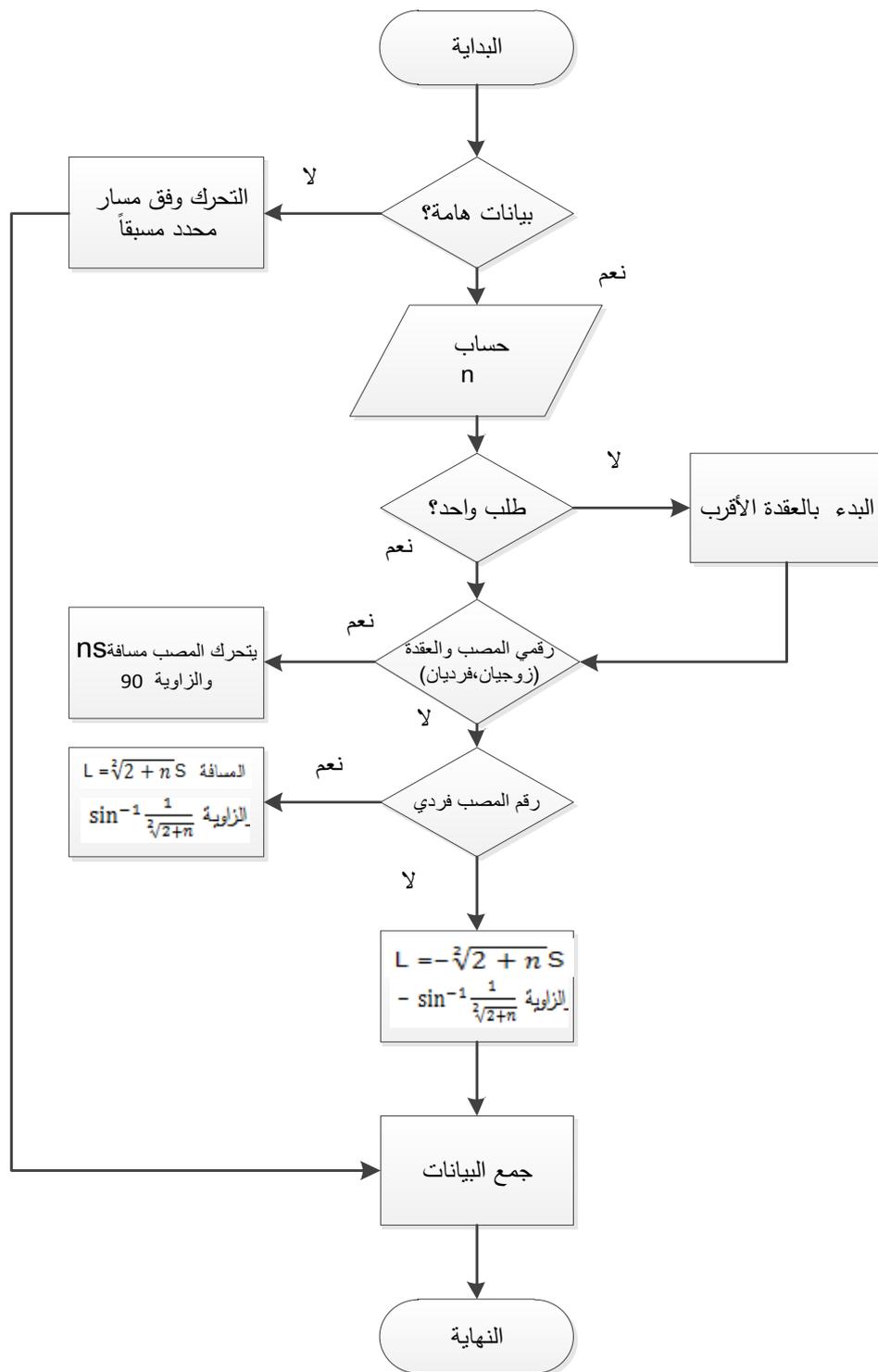
عندما يختلف رقم المربع الذي تتواجد فيه عقدة المصب ورقم المربع الذي تتواجد فيه العقدة الحساسة (فردي لعقدة المصب ، زوجي للعقدة الحساسة) سيكون لدينا المسافة $L = \sqrt{2+n} S$ والزاوية $\sin^{-1} \frac{1}{\sqrt{2+n}}$.

وعندما تكون (زوجي لعقدة المصب، فردي للعقدة الحساسة) سنقوم فقط بضرب البارامترات السابقة (المسافة،

الزاوية) بإشارة سالبة على اعتبار أن عقدة المصب هي مركز الإحداثيات ولا تعبر إشارة السالب عن مسافة سالبة.

في حال وصول رسالتي طلب (أو أكثر) بنفس الوقت لعقدة المصب ستقوم عقدة المصب بزيارة العقدة ذات السطر الأقرب لها ثم الأبعد فالأبعد.

ويوضح الشكل (6): المخطط التدفقي للخوارزمية:



الشكل (6): المخطط التدفقي للخوارزمية المقترحة

3. المحاكاة والنتائج:

في كل مربع ضمن الشبكة تُختار العقدة ذات الطاقة الأعلى كقائد للعنقود وينتخب قائد العنقود مرة ثانية بعد نهاية دورة جمع البيانات التي تنتهي عندما تزور عقدة المصب كافة مربعات الشبكة.

أُجريت عملية المحاكاة على برنامج NS-2.35 نُصّب على نظام Linux-mint 17 الذي بدوره منصّب على برنامج Virtual machine ضمن نظام التشغيل Windows 7. بارامترات المحاكاة موضحة ضمن الجدول (2)، والتي اختيرت كما هي في الدراسات السابقة ، لسهولة مقارنة النتائج بين الخوارزمية المقترحة والخوارزميات الأخرى.

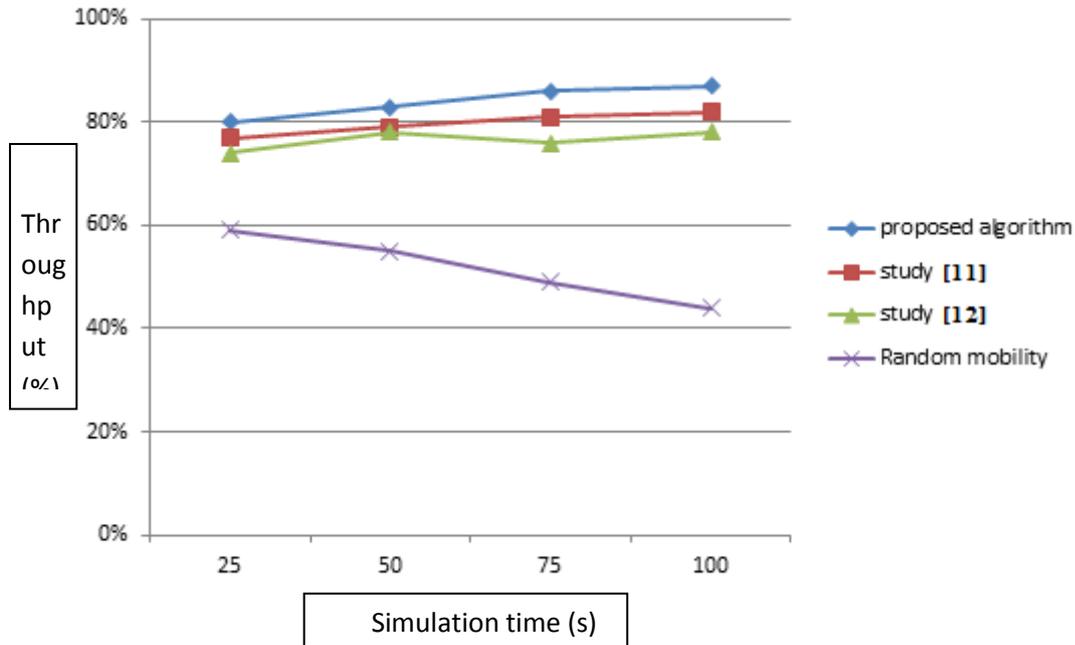
الجدول (2): بارامترات المحاكاة

100x100 m ²	مساحة المنطقة
30	عدد العقد
1	عدد عقد المصب
IEEE802.15.4	بروتوكول الاتصال
100 s	زمن المحاكاة
s/10 m	سرعة عقدة المصب
1j	الطاقة البدائية للعقدة الحساسة
25 m	نصف قطر منطقة الاتصال
عشوائي	توزيع العقد

قورنت نتائج الخوارزمية المقترحة(التي سيشار لها بـ proposed algorithm في الأشكال التي ستعرض النتائج)، مع الخوارزميات سابقة الذكر [11,12] أو حركة عشوائية لعقدة المصب Random mobility وفق بارامترين هما نسبة وصول الرزم وتأخير نهاية-نهاية.

1.4. النتائج:

1.1.4. نسبة وصول الرزم (الإنتاجية): تعرف الإنتاجية بأنها النسبة المئوية لوصول الرزم السليمة إلى الهدف (المستقبل)، يبين الشكل (7) مقارنة بين الإنتاجية عند تطبيق الخوارزمية المقترحة والخوارزميات الأخرى سابقة الذكر.

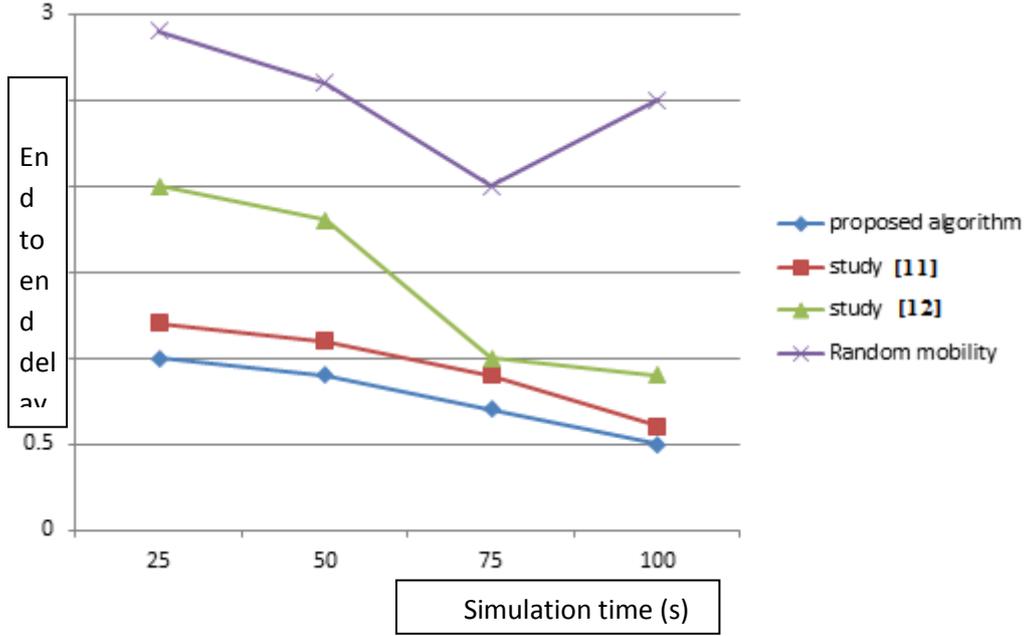


الشكل (7): مقارنة الإنتاجية بين الخوارزميات

أعطت الخوارزمية المقترحة نتائج أفضل مقارنة بسابقاتها لأنه وكما ذكر سابقاً تقوم العقدة الحساسة في الدراسة [12] بإيقاظ العقد المجاورة للعقدة الحساسة ثم إرسال رسالة الطلب لعقدة المصب. في الدراسة [11] نلاحظ عدم وجود طرف ثالث للاتصال بين العقدة الحساسة والعقدة المصب فكانت نتائجها أفضل لكن لم يكن مسار عقدة المصب إلى العقدة الحساسة هو الأقصر، فكان يتوجب على عقده المصب زياره كل المربعات الوسيطة (دون التوقف) بين مكانها عند ورود طلب من العقدة الحساسة وبين مربع هذه العقدة مما يعني تأخير زائد واحتمال أعلى لفقد البيانات المحسوسة كلما زاد التأخير في وصول عقدة المصب إلى العقدة الحساسة، أما في دراستنا فقد تم حساب أقصر مسار للوصول إلى العقدة الحساسة، و عند الحركة العشوائية لعقدة المصب (دون تعديل) كانت نتيجة المحاكاة هي الأسوأ.

2.1.4. التأخير نهاية-نهاية:

يعرف هذا التأخير بأنه الفرق بين الزمن المتوقع لوصول الرزم وبين وقت الوصول الفعلي لهذه الرزم. يبين الشكل (8) تأخير أقل عند تطبيق الخوارزمية المقترحة نتيجة أن عقدة المصب ستسلك أقصر مسار عند ورود طلب لاستقبال بيانات ذات أهمية قصوى على عكس الخوارزميتين [11,12] والتي تطلب أن تسلك عقدة المصب مسار طويل أو احتفاظ عقد قريبة بالبيانات لحين وصول عقدة المصب إلى المربع الهدف.



الشكل (8): تأخير نهاية-نهاية في الخوارزمية المقترحة وباقي الخوارزميات

4. التوصيات:

اقترحنا بهذا البحث خوارزمية لتعديل مسار عقدة المصب عند ورود طلب لإرسال بيانات ذات أهمية قصوى وتوجيه عقدة المصب كي تسلك أقصر مسار للوصول للعقدة الحساسة وجمع البيانات الهامة دون خسارة البيانات ذات الأهمية العادية.

بينت النتائج تفوق الخوارزمية على خوارزميات سابقة من حيث التأخير الأقل و الإنتاجية الأعلى، نوصي باستخدام هذه الخوارزمية في شبكات الحساسات اللاسلكية العاملة في مجال يمكن أن يحوي بيانات ذات أهمية بالغة وتطلب السرعة في جمع هذه البيانات، تجدر الإشارة إلى أن المحاكاة تعطي نتائج قد تكون مثالية أكثر من الواقع بنسبة ولو ضئيلة وهذا ينطبق على الخوارزمية المقترحة وباقي الخوارزميات التي تمت المقارنة معها.

6. المراجع:

[1]M. P. Kolba, W. R. Scott, and L. M. Collins, "A framework for information-based sensor management for the detection of static targets," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. A, Syst., Humans*, vol. 41, no. 1, pp. 105–120, Jan. 2011

[2] J. Zhang, W. Li, Z. Yin, S. Liu, and X. Guo, "Forest fire detection system based on wireless sensor network," in *Proc. 4th IEEE Conf. Ind. Electron. Appl.*, Xi'an, China, May 2009, pp. 520–523.

[3]A. Kinalis, S. Nikolettseas, D. Patroumpa, J. Rolim. Biased sink mobility with adaptive stoptimes for low latency data collection in sensor networks. *Inf. Fusion* **2012**, *15*, 56–63.

[4] K. Tian, B. Zhang, K. Huang, and J. Ma, "Data Gathering Protocols for Wireless Sensor Networks with Mobile Sinks," in *Proceedings of the GLOBECOM 2010 - 2010 IEEE Global*

Communications Conference, pp. 1–6, IEEE Press, Miami, Fla, USA, December 2010.

[5] H. Mostafaei, M. U. Chowdhury, and M. S. Obaidat, "Border Surveillance With WSN Systems in a Distributed Manner," *IEEE Systems Journal*, vol. 12, no. 4, pp. 3703–3712, 2018.

[6] Z. Wang, Y. Chen, L. Yu, and T. Ren, "Mobile path selection algorithm of Sink node for optimizing network lifetime," *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, vol. 27, no. 3, pp. 409–415, 2014.

[7] A. Kaswan, K. Nitesh, P. K. Jana. A routing load balanced trajectory design for mobile sink in wireless sensor networks. In: *Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, 2016 International Conference on IEEE; 2016. p. 1669–1673.

[8] K. Nitesh, A. Kaswan and P. K. Jana, "Energy density based mobile sink trajectory in wireless sensor networks", *Microsystem Technology*, vol (2019) 25:pp. 1771–1781, 2019.

[9] R. Vijayashree, and C. Suresh Ghana Dhas. "Energy efficient data collection with multiple mobile sink using artificial bee colony algorithm in large-scale WSN." *Automatika* 60.5 (2019): 555-563.

[10] J. Chang, J. Sheu, Y. Jian, & W. Chang. An Efficient Data Collection Path Planning Scheme in Wireless Sensor Networks with Mobile Sink. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking* 2020(1), 1-23.

[11] K. Safwan. "Adaptive Path Design for Mobile Sink in Wireless Sensor Networks.", *IJCST*, vol(11)2: pp. 24-28, 2020.

[12] Z. Ling, W. Cheng. Dynamic Path Planning Design for Mobile Sink with Burst Traffic in a Region of WSN. *Wireless Communications and Mobile Computing* 2019 (2019).