

تقليل زمن التأخير في شبكات الحساسات اللاسلكية من خلال تخفيض درجة تعقيد خوارزمية توجيه البيانات

د. م . ماهر ابراهيم *

م. نور سليمان **

(تاريخ الإيداع 2022/ 2/ 24 . قُبِلَ للنشر في 2022/ 5/ 17)

□ ملخص □

تلعب شبكات الحساسات اللاسلكية دوراً هاماً في كافة مجالات الحياة مثل المجال الطبي و المجال العسكري و المجال الاقتصادي و غيرها من المجالات نظراً لسهولة توزيعها في منطقة البحث و تكلفتها المنخفضة مقارنةً بالشبكات الأخرى . تعدّ شبكات الـ AdHoc من أهم هذه الشبكات وأكثرها انتشاراً في كافة المجالات وخاصةً في التطبيقات العسكرية وفي الأماكن التي يتعذر فيها إنشاء بنية تحتيةٍ إمّا نتيجة الحروب أو الزلازل أو غيرها من الكوارث .

نظراً لأن استخدامات هذه الشبكات هي في الزمن الحقيقي (التطبيقات التي تتطلب استجابةً آنية) مثل التطبيقات العسكرية و تطبيقات الرعاية الصحية و المراقبة البيئية و الأتمتة الصناعية . يهدف هذا البحث إلى تقليل زمن التأخير في شبكات الحساسات اللاسلكية من خلال تخفيض درجة تعقيد خوارزمية التوجيه المستخدمة في هذه الشبكات إلى أكبر قدر ممكن نظراً لأهمية شبكة الحساسات اللاسلكية و استخدامها في كافة المجالات، و ذلك للاستفادة منها في كافة التطبيقات .

قدّم هذا البحث تحسناً ملحوظاً عن البحث [1] الذي قدّم تحسناً كبيراً في تخفيض استهلاك طاقة عقد الحساسات اللاسلكية في الشبكات المتوسطة الكثافة و القليلة الكثافة و الكبيرة الكثافة و ذلك عن طريق تقسيم شبكة الحساسات اللاسلكية إلى عناقيد ، يرأس كل عنقود قائد عنقود متحرك ، يقوم قائد العنقود بالتحرك ضمن العنقود للاقتراب من عقد الحساسات اللاسلكية و ذلك لتقليل المسافة بين المصدر و الوجهة مما يقلل من طاقة الإرسال و الاستقبال و بالتالي يتم إطالة عمر شبكة الحساسات اللاسلكية. إذ تم في هذا البحث تخفيض التعقيد البرمجي للألية المقترحة في البحث [1] و ذلك لتخفيض قيمة التأخير الزمني الناتج عن تطبيقها و بالتالي أدى ذلك إلى انخفاضاً ملحوظاً في قيمة التأخير الزمني في شبكات الحساسات اللاسلكية، كما سيوضحه هذا البحث.

الكلمات المفتاحية: بروتوكولات مُقادة بالجدول ، بروتوكولات مُقادة بالجدول عن الطلب، بروتوكولات هجينة، بروتوكولات تعتمد على العنقدة (العناقيد)، بروتوكول التوجيه الذي يعتمد على المصب المتحرك.

*مدرس في قسم هندسة تكنولوجيا المعلومات-كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات-جامعة طرطوس-طرطوس-سوريا
** مهندسة في قسم هندسة تكنولوجيا المعلومات-كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات-جامعة طرطوس-طرطوس-سوريا

Reducing The Complexity of Routing Data Technique to Reduce the delay in Wireless Sensor Networks

Dr . Maher Ibrahim *
Eng .Nour Souliman**

(Received 24/ 2/ 2022 . Accepted 17/ 5/ 2022)

□ ABSTRACT □

Wireless Sensor Networks have a big role in all fields of life, such as medical field, military field, economic field and the other fields, because it is easy to distribute the sensors in the search area as well as the low cost of these networks compared to other networks. Ad-hoc is one of the most important networks of wireless sensor networks. Ad-hoc is the most common-used network in all fields especially in military field and places where there is difficult to put foundation because of wars, earthquake ,etc ...

Ad-hoc network is used in real time applications (applications that requires response in the same time) and in applications need response at the same time Such as military applications, healthcare applications, environmental monitoring and industrial automation. so this search aims to reduce the delay in these networks because of the importance of these networks and the usage of them in all fields. This research presented a significant improvement over the research [1], which provided a significant improvement in reducing the power consumption of wireless sensor nodes in medium-density, low-density and large-density networks by dividing the wireless sensor network into clusters. Each cluster is headed by a moving cluster leader, The cluster leader moves within the cluster to approach the nodes of the wireless sensors, in order to reduce the distance between the source and the destination, which reduces the transmitting and receiving power, thus extending the life of the wireless sensors network. In this research, the programmatic complexity of the mechanism proposed in the research [1] was reduced, in order to reduce the value of the time delay resulting from its application, and thus led to a significant decrease in the value of the time delay in wireless sensor networks, as this research will illustrate.

Keywords: table-driven protocols, on-demand table protocols, Hybrid protocols, Mobile Sink- Based routing protocol.

* Teacher, Department of Information Technology Engineering , Faculty of Information and Communication Technology Engineering, University of Tartous, Syria.

**Engineer, Department of Information Technology Engineering, Faculty of Information and Communication Technology Engineering, University of Tartous, Syria

1-المقدمة:

تعدّ شبكات AdHoc من أكثر الشبكات انتشاراً في كافة المجالات إذ تعني كلمة Ad hoc أنه يمكن للأجهزة أن تنشئ اتصال في أي وقت و في أي مكان دون أن تحتاج إلى بنية تحتية مركزية.

تقسم شبكات ال Ad-Hoc إلى:

- ✓ Mobile Adhoc Network (MANET) (الشبكات المتحركة ذات التنظيم الذاتي)[1]
- ✓ Vehicle Adhoc Network (VANET) (شبكات المركبات ذات التنظيم الذاتي)[2]
- ✓ Wireless Sensor Network (WSN) (شبكات الحساسات اللاسلكية)[3]
- ✓ Wireless Mesh Network (WMN) (الشبكات اللاسلكية ذات الطوبولوجيا الشبكية)[4]

استخدمنا في هذا البحث شبكة Ad-Hoc من النوع الثالث (شبكة حساسات لا سلكية (WSN)). نعلم أن الوسائط المتعددة أصبحت جزءاً من حياتنا اليومية و أنّ استخدامها يزدهر يوماً بعد يوم في كافة المجالات ، و لكنها تستهلك عرض حزمة كبير أثناء الإرسال و الاستقبال نظراً لحجمها الكبير، لذلك تعاني شبكات الحساسات اللاسلكية من عدّة عوائق في نقل الوسائط المتعدّدة . كما أنّ طرائق تقليل حجم الوسائط المتعددة مثل الضغط يُقلّل دقّة المعلومة و أحياناً يؤدي إلى حذف الأجزاء الهامة من البيانات المنقولة كما يُسبب تأخيراً لدى المرسل و المستقبل نظراً للقيام بعمليات التشفير و فك التشفير للبيانات. لذلك يهدف هذا البحث إلى تقليل التأخير الزمني في شبكات الحساسات اللاسلكية عند نقل الوسائط المتعددة و غيرها من البيانات.

تتقسم البروتوكولات التي تعمل شبكات AdHoc وفقها إلى ثلاثة أقسام:

- ✓ Table-driven protocols
- ✓ On demand-driven protocols
- ✓ Hybrid protocols

في النوع الأول [2,3] تحتفظ كل عقدة بجدول (يسمّى جدول توجيه العقدة) يحوي هذا الجدول على كافة العقد الموجودة في الشبكة و المسارات التي تصل هذه العقدة بتلك العقد، يتمّ تشكيل هذا الجدول بعد توضع العقد في منطقة البحث مباشرة . إذ يتم تبادل رسائل ترحيب بين العقد في الشبكة تحتوي هذه الرسائل معلومات عن موقع العقدة و كمية الطاقة التي تحتويها كل عقدة (يكون هذا البارامتر متساو لدى كافة العقد في بداية عمل الشبكة). هذا النوع مناسب للشبكات صغيرة الحجم لأن تشكيل جدول توجيهه يسبب تأخيراً زمنياً فكلما كانت كثافة الشبكة (عدد العقد ضمن الشبكة و توزعها في منطقة البحث) أكبر كلما زاد التأخير الزمني نظراً لأن تشكيل جدول التوجيه يتطلب إرسال واستقبال رسائل الترحيب بين العقد.

في النوع الثاني [4] لا يتمّ تشكيل جدول بشكل مسبق لدى كل عقدة . ففي هذا النوع تقوم كل عقدة بإرسال رسالة طلب مسار (طلب تشكيل مسار) إلى العقدة الهدف عند حاجتها إلى ذلك . نظراً لأن مرور البيانات في الوقت الفعلي تتطلب مزيداً من الاهتمام ، يتم منحها الأولوية على حركة المرور في الوقت اللاحق (الغير آني). يعدّ هذا النوع مناسب للشبكات الكبيرة الحجم و لكنّه غير مناسب للشبكات ذات الديناميكية العالية لأنّه في الشبكات ذات الديناميكية العالية يتم تغيير الطوبولوجيا بشكل مستمرّ فعند كل تغيير تقوم العقد بإرسال طلب مسار جديد ممّا يسبب تأخيراً بسبب الزمن اللازم لتشكيل المسار الجديد عند حدوث كل تغيير في الشبكة.

أما النوع الثالث [5,6,7] فهو يجمع بين النوعين السابقين (المقاد بالجدول و المقاد بالجدول عند الطلب) إذ أنه يجمع بين مميزات النوعين السابقين فلكل عقدة منطقة خاصة بها ، يُحدّد قطر هذه المنطقة يُحدّد من قبل مصمّم الشبكة إذ أنه داخل هذه المنطقة يتم العمل و فق النوع الأول (المقاد بالجدول) و خارج هذه المنطقة يتم العمل وفق النوع الثاني (المقاد بالجدول عند الطلب). يعدّ هذا النوع غير مناسب للشبكات صغيرة الحجم ففي أغلب الأحيان يكون قطر منطقة العقدة أكبر أو يساوي قطر الشبكة فيؤول العمل عندئذ إلى العمل وفق النوع الأول من البروتوكولات و أيضاً غير مناسب للشبكات كبيرة الحجم ففي أغلب الأحيان يكون قطر منطقة العقدة صغير جداً بالنسبة إلى قطر الشبكة فيؤول العمل عندئذ إلى العمل وفق النوع الثاني من البروتوكولات.

وجدنا أنّ التصنيفات الثلاثة السابقة للبروتوكولات تكون مناسبة لشبكات ذات كثافة عقد محددة إذ أنها تسبب تأخير زمني في الشبكات ذات الكثافات الأخرى وأن الدراسات التي تعتمد على التصنيف (الهرمية) تسبب تأخيراً أقل [8,9].

اعتمدت دراستنا في هذا البحث على الدراسة [1] الذي يعدّ دراسة مطورة لبروتوكول LEACH الذي يعتمد على الهرمية (لديه مستويين هرميين : المستوى الأول يمثل العقد ذات الطاقة الأعلى و تمثل قادة العناقيد) إذ يملك كل عنقود قائد له و هو عقدة حساس لاسلكية تملك مستوى طاقة أعلى من باقي العقد ضمن العنقود) و المستوى الثاني يمثل العقد ذات الطاقة الأقل من المستوى الأول و تمثل عقد الحساسات اللاسلكية المتوضعة ضمن العناقيد) الذي اعتمدت الدراسة [1] عليه في مبدأ عملها في تقسيم الشبكة إلى عناقيد و انتخاب قائد عنقود لكل عنقود و لكن يكون قائد العنقود متحركاً في الدراسة [1] و ذلك لتخفيض استهلاك طاقة عقد الحساسات اللاسلكية.

2- أهمية البحث وأهدافه:

نظراً للأهمية البالغة لشبكات الحساسات اللاسلكية واستخدامها المنتشر في كافة المجالات كان لا بد لنا من معالجة الثغرات والمشاكل التي تعترض استخدام هذه الشبكات و أهمها معالجة مشكلة التأخير الزمني التي تحد من استخدامها في تطبيقات الزمن الحقيقي [10,11] و التطبيقات الطبية والعسكرية و غيرها من التطبيقات الحساسة لموضوع التأخير الزمني يخفض هذا البحث قيمة التأخير الزمني من خلال تخفيض التعقيد البرمجي لخوارزمية التوجيه التي تعمل وفقها شبكة الحساسات اللاسلكية. و نظراً لأن البروتوكولات التي تعتمد على التصنيف (الهرمية) في تشكيل الشبكة كانت أفضل من البروتوكولات المقادة بالجدول و البروتوكولات المقادة بالجدول عند الطلب و البروتوكولات الهجينة لأنها مناسبة للشبكات بغض النظر عن كثافتها، و نظراً لما قدمته الدراسة [1] من إطالة في عمر شبكة الحساسات اللاسلكية و تخفيض في استهلاك طاقة عقد الحساسات اللاسلكية ، قدمت أيضاً تأخيراً زمنياً لذلك قمنا في هذا البحث بتخفيض التعقيد البرمجي باعتماد آلية العمل المقترحة في الدراسة [1] و منه نجد أهمية البحث كالتالي:

✓ إن محاولة تخفيض التأخير برمجياً تؤدي الهدف المرجو من البحث دون أي كلفة مادية أي دون الحاجة إلى إضافة مكونات إلى الشبكة أو إزالة مكونات أو تغيير البيئة التي نطبق عليها البحث.

✓ تجعل معالجة التعقيد البرمجي ت الآلية المقترحة أسرع تنفيذاً وقابلة للتطبيق على العقد ذات المعالجات المنخفضة والمتوسطة الأداء. كما يخفض من حجم الكود مما يوفر أيضاً في ساعات التخزين المستخدمة لدى الشبكة.

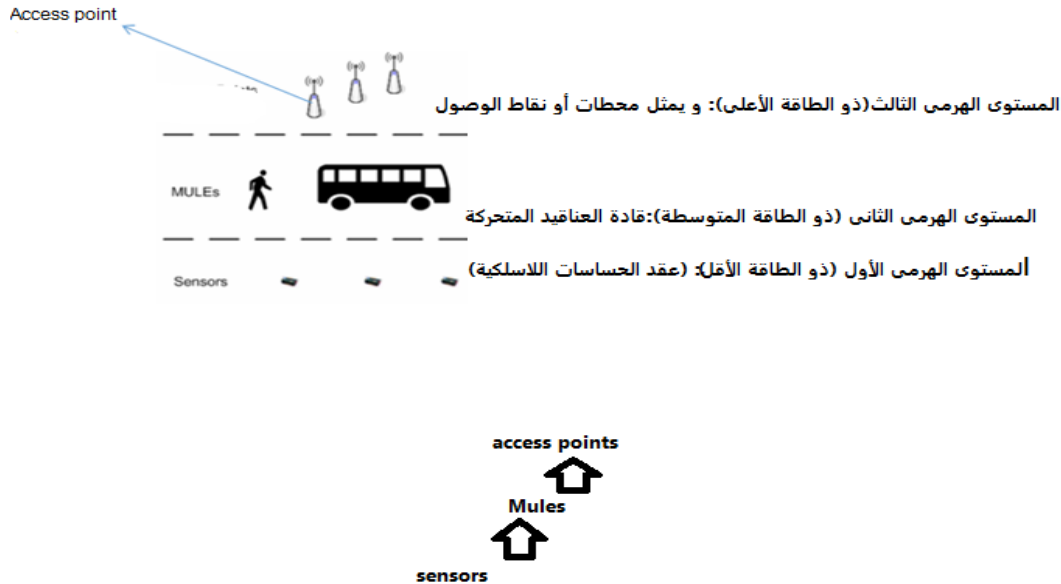
✓ و هكذا نجد أن حل مشكلة التأخير الزمني عن طريق تخفيض التعقيد البرمجي للآلية المقترحة يجعلها مرنة وسهلة الاستخدام وقابلة للتطبيق على مختلف العقد ضمن الشبكة رغم اختلاف سرعة المعالج في هذه العقد و اختلاف حجوم الذاكرة فيها.

✓ يزيد تخفيض التأخير الزمني يزيد من سرعة استجابة الشبكة و يخفف من استهلاك طاقة عقد الحساسات اللاسلكية؛ كلما قل التأخير الزمني كلما انخفضت المدة الزمنية التي تبقى فيها عقد الحساسات اللاسلكية في الوضع ON و هكذا تتم المحافظة على طاقة العقد بشكل أفضل.

✓ يهدف البحث إلى تقليل التأخير الزمني و زيادة زمن الاستجابة لكافة الطلبات و الخدمات التي تقدمها شبكات الحساسات اللاسلكية و ذلك بتخفيض التعقيد البرمجي للآلية التي اعتمدها البحث [1].

3- طرائق البحث ومواده:

نعمد في هذا البحث على الدراسة [1] إذ يكون لدينا هرمية (وبالتالي يكون لدينا اختلاف في وظائف العقد و في مستويات الطاقة لدى هذه العقد و بالتالي تسبب كل عقدة تأخيراً مختلفاً عن العقد الأخرى حسب وظيفتها و دورها .يوضح الشكل التالي هذه الهرمية:



الشكل (1) المستويات الهرمية لعقد الحساسات اللاسلكية

يوضح الشكل (1) أنواع عقد الحساسات اللاسلكية التي تحتويها شبكة الحساسات اللاسلكية و المستوى الهرمي الذي يتواجد فيه كل نوع من عقد الحساسات اللاسلكية.

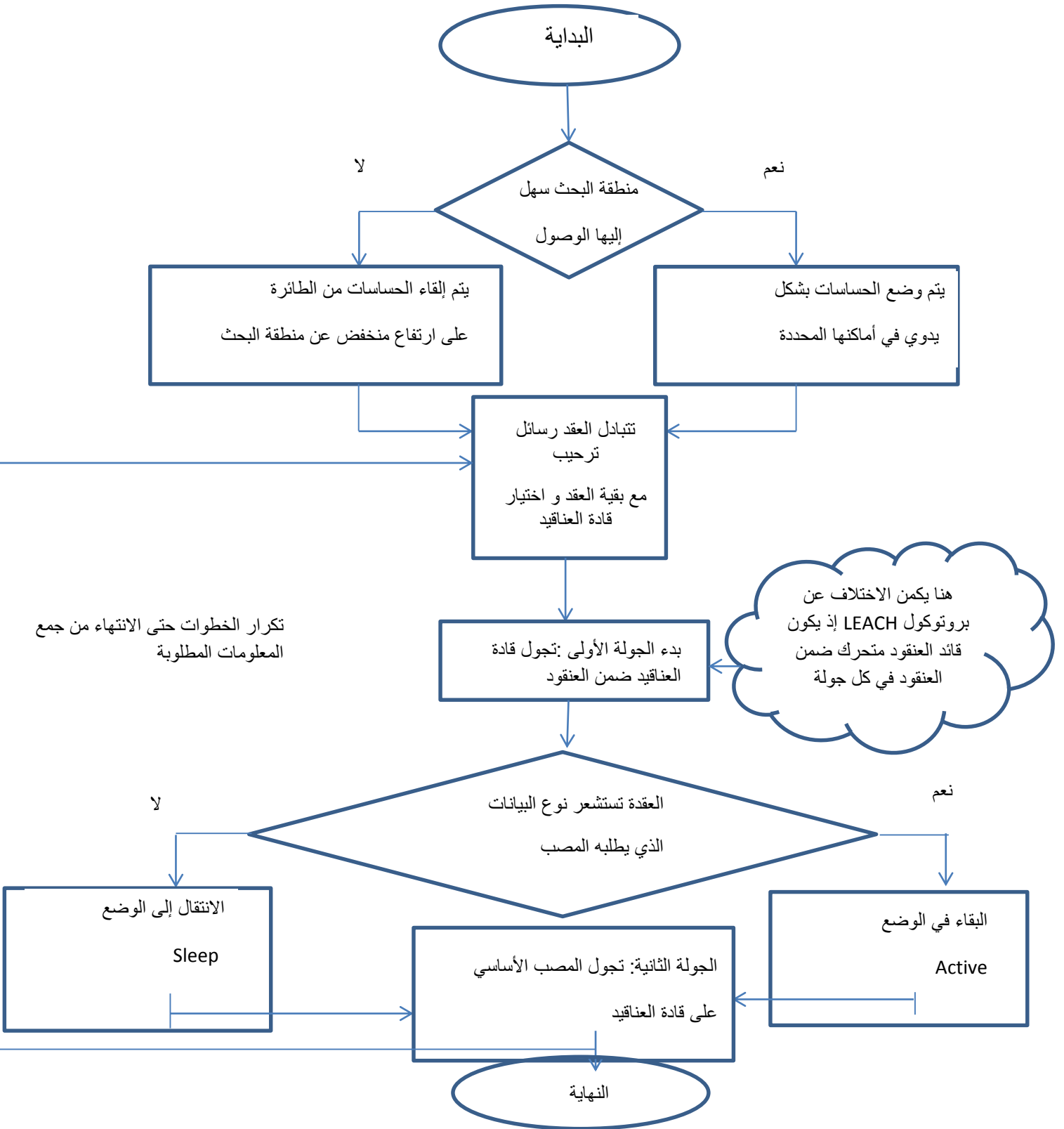
إن الـ Access Point هي ذات المستوى الهرمي الأعلى إذ تملك أعلى مستوى طاقة بين كافة العقد ففي نهاية كل مدة زمنية تتجول في الشبكة للمرور على كافة قادة العناقيد لجمع البيانات منها و في نهاية الجولة تكون قد جمعت معلومات عن كافة الشبكة. كلما تأخرت قادة العناقيد في إرسال بيانات الجولة إلى الـ Access Point يزداد التأخير الزمني لنا.

الـ Mules هو المستوي الهرمي الثاني بعد نقطة الوصول يمتلك طاقة أقل من طاقة نقطة الوصول المتحركة و أعلى من طاقة العقد البقية المتواجدة ضمن العنقود فهو يمثل قائد العنقود ، إذ يقوم في كل جولة بالمرور على كافة العقد ضمن العنقود ليجمع البيانات التي قامت تلك العقد باستشعارها. كلما كانت العقد متباعدة عن بعضها البعض يزداد التأخير، نظراً لتزايد المسافة التي يقطعها الـ mule للوصول إلى العقدة التالية وهكذا.

تمثل عقد الحساسات اللاسلكية (sensors) المستوى الهرمي الأدنى التي تقوم باستشعار البيانات خلال الجولات. كلما تأخر الـ mule في الوصول إلى هذه العقدة سيزداد التأخير لديها.

• نعتد في هذا البحث على تخفيض التعقيد البرمجي للألية المقترحة في الدراسة [1] و ذلك

لتخفيض التأخير الذي تقدمه تلك الآلية. الآلية المقترحة في الدراسة [1] هي:



الشكل (2) الخوارزمية المقترحة في البحث [1]

ينتج التعقيد البرمجي في الآلية السابقة عن استخدام توابع لتجميع البيانات (تابع حساب المتوسط الحسابي) و حلقات لتحديد وضع العقد إذا كانت sleep أو active في نهاية كل جولة وحلقات لإجراء عملية الانتخاب في كل جولة.

قمنا بتخفيف تعقيد الخوارزمية كالتالي:

• تحتوي الآلية تابع لحساب المتوسط الحسابي لدرجة الحرارة والرطوبة التي تستشعرها عقد الحساسات اللاسلكية و هذا التابع يحتوي حلقة for أي سيتم تنفيذ هذا الجزء من الكود N للقوة 2 مرة مما سيسبب تأخيراً زمنياً و بما أننا نطبق هذه الآلية على منطقة واحدة محددة فإن درجة الرطوبة والحرارة ستكون متشابهة تقريباً في أي منطقة جزئية منها لذلك كما قمنا بإلغاء توابع التجميع نظراً للزمن الذي تستغرقه العقد المتحركة في استدعائها وإسنادها للبارامترات التي قامت عقد الحساسات باستشعارها وإظهار النتائج وقمنا بالاحتفاظ بالقيمة الأعلى للحرارة والرطوبة فعند كل عملية النقاط لدرجة رطوبة أو حرارة يقوم قائد العنقود المتحرك بمقارنتها مع القيمة السابقة لديه والاحتفاظ بالقيمة الأعلى.

ويظهر الجزء من الكود التالي آلية العمل قبل تطبيق التعديل

```

global ns tracefile namfile
$ns flush-trace
close $tracefile
close $namfile
exec nam out1.nam &
exit 0

}
for {
set i 0
} {
$si < $val(nn)
} {
incr i
} {

$ns at $val(stop) "\$n$i reset"

}
$ns at $val(stop) "$ns nam-end-wireless $val(stop)"
$ns at $val(stop) "finish"
$ns at $val(stop) "puts \"done\" ; $ns halt"
_
#####

for {set i 1} {$i < 7} {incr i} {
$ns_ at [expr $i*($val(startInterval))] "$node_($i) sscs startCTDevice"
}

for {set i 7} {$i < 11} {incr i} {
$ns_ at [expr $i*($val(startInterval))] "$node_($i) sscs startCTDevice"
}

```


و بعد تطبيق التعديل:

```
set tcp22 [new Agent/TCP]
$tcp22 set class_ 2
set sink22 [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $n14 $tcp22
$ns attach-agent $n11 $sink22
$ns connect $tcp22 $sink22
set ftp22 [new Application/FTP]
$ftp22 attach-agent $tcp22
#$ftp22 set rate_ 1.0Mb
#$ftp22 set random_ null
#$ftp22 set interval_ 0.4
$ns at 54.2 "$ftp22 start"
$ns at 56.0 "$ftp22 stop"

set tcp23 [new Agent/TCP]
$tcp23 set class_ 2
set sink23 [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $n4 $tcp23
$ns attach-agent $n1 $sink23
$ns connect $tcp23 $sink23
set ftp23 [new Application/FTP]
$ftp23 attach-agent $tcp23
```

• أيضاً قمنا بإلغاء الحلقات في نهاية كل جولة لتحديد العقد إذا كانت sleep أو active واستبدلنا ذلك بتعليمة تكون عبارة عن رسالة ترسلها العقدة التي ستدخل في وضع sleep إلى قائد عنقودها وبالتالي فإن العقد التي لن ترسل هذه الرسالة تكون في الوضع active . يظهر الجزء من الكود آلية العمل قبل وبعد تطبيق التعديل:

```
#####
for {set i 1} {$i < 7} {incr i} {
    $ns_ at [expr $i*($val(startInterval))] "$node_($i) sscs startCTDevice"
}

for {set i 7} {$i < 11} {incr i} {
    $ns_ at [expr $i*($val(startInterval))] "$node_($i) sscs startCTDevice"
}
}
```

بعد التعديل:

```
$ns_ at 30.0 "Mac/802_15_4 wpanNam PlaybackRate 10.0ms"
$ns_ at 40.0 "Mac/802_15_4 wpanNam PlaybackRate 100.0ms"

$ns_ at 50.0 "puts \"\\nTransmitting data ...\\n\""
```

• وبالتالي يكون التأخير N. مرة أي كل سطر يتم تنفيذه مرة و بما أننا حذفنا توابع التجميع وحلقات توزيع العقد و استبدلناها بتعليقات set سيصبح التأخير N. مرة بدلاً من (N+N*2) مرة وبما أن N تكاد لا تذكر بالنسبة لـ N*2 سيكون التعقيد قبل تطبيق التعديل N*2 وبعد تطبيق التعديل N مرة. توضح المعادلة التالية التأخير الزمني قبل

$$T(n)=O(f(n))$$

$$T(n)=T1(n)+T2(n)+T3(n)$$

يمثل n حجم مقياس البيانات (حجم البيانات أو الملفات التي يتم تبادلها) و (n) يمثل العدد الإجمالي للمرات التي يتم فيها تنفيذ كل سطر من التعليمات البرمجية و يمثل T(n) الوقت الإجمالي لتنفيذ التعليمات البرمجية.

يمثل $T1(n)$ زمن تنفيذ التعليمات العادية التي لا تحتاج حلقات مثل تعليمات التوضع الأولي وتهيئة الشبكة إذ يتم تنفيذ هذه التعليمات n مرة حيث تمثل n عدد هذه التعليمات.

يمثل $T2(n)$ زمن تنفيذ تعليمات توابع التجميع و لدينا هنا في هذه الآلية تابع حساب المتوسط الحسابي الذي يحوي حلقة for أي يتم تنفيذ هذه التعليمات n^2 مرة حيث تمثل n عدد هذه التعليمات وبالتالي فإن درجة التعقيد الزمني هي $O(n^2)$.

يمثل $T3(n)$ زمن تنفيذ تعليمات اختبار العقد فيما إذا كانت sleep/ active عند انتهاء الجولة و يساوي أيضاً n^2 مرة (لأنها تحتوي حلقة) حيث تمثل N عدد هذه التعليمات.

و بالتالي يصبح : $T(n) = 2 * n^2$ إذ تهمل n لصغر قيمتها أمام n^2

أما بعد تخفيض التعقيد البرمجي تصبح معادلة التأخير الزمني كالتالي:

$$T(n) = T1(n) + T2(n) + T3(n)$$

إذ أن $T1(n) = n$ و $T2(n) = n$ لأننا استبدلنا الحلقات بتعليمات حسابية عادية و يصبح أيضاً

$T3(n) = n$ لأننا أيضاً استبدلنا الحلقة بتعليمات عادية.

T و هو أقل من التأخير الزمني قبل تخفيض التعقيد الزمني ألا و هو $T(n) = 3 * n$ و بالتالي يصبح

$$T(n) = 2 * n^2$$

و بالتالي أصبح تنفيذ التعليمات البرمجية في معظم الأوقات (n مرة)، وبالتالي يصبح التعقيد الزمني

الوقت هو $O(n)$.

لاحظنا انخفاض التأخير بنسبة ملحوظة عن الدراسة [1].

4- المناقشة:

خفّض هذا البحث التعقيد الناتج عن تطبيق آلية Mobile-Sink-Based-Routing (رأس

العنقود المتحرك) [1].

إن تخفيض التعقيد البرمجي للكود من أهم القضايا التي تفيد في تقليل تأخير زمن التنفيذ مما يجعل تطبيق الآلية المقترحة أفضل في كافة المجالات. إذ أن التأخير هو الفرق بين زمن إرسال رسالة طلب المعلومة من قِبَل قائد العنقود و زمن إرسال تلك المعلومة من قِبَل عقدة حساس واحدة أو عدة عقد الحساسات. و كلما قل التأخير تكون استجابة الشبكة أعلى وخاصة في تطبيقات الزمن الحقيقي وغيرها من التطبيقات الحرجة.

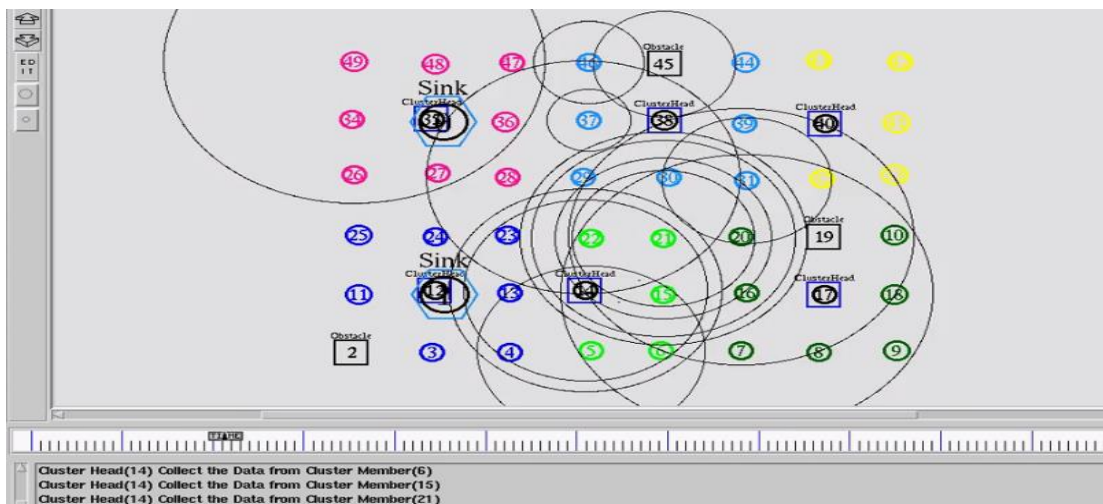
تظهر المخططات البيانية التالية النتائج التي توصلنا إليها بعد تطبيق الآلية المقترحة للسياريو التالي:

عند تطبيق السيناريو الأول :

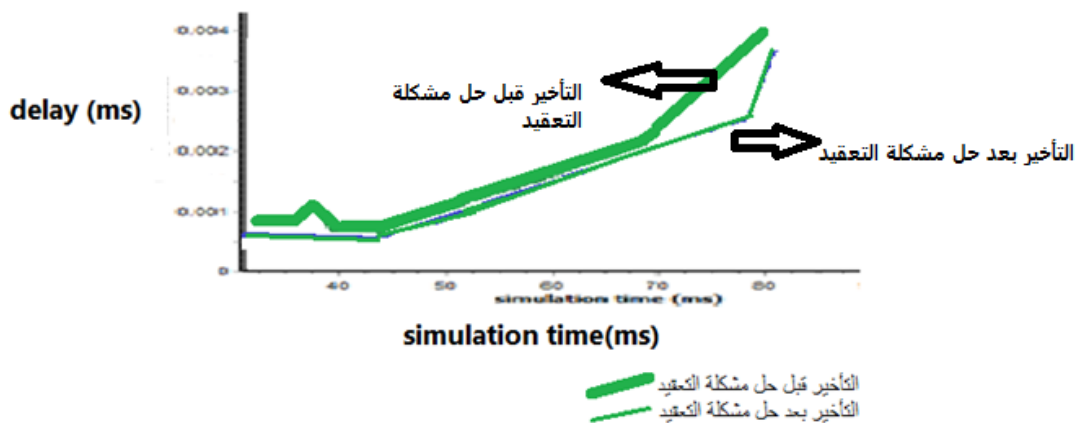
نطبق الآلية على شبكة متوسطة الكثافة (عدد متوسط من العقد يغطي منطقة البحث و هو في هذا

البحث 48 عقدة حساس و تكون الأبعاد بين هذه العقد متوسطة تقريباً)،

الشكل التالي يوضح السيناريو الأول:



الشكل (3) يوضح كثافة و توزيع العقد في السيناريو الأول



الشكل (4) يوضح التأخير الزمني في السيناريو الأول قبل و بعد تخفيض التعقيد البرمجي

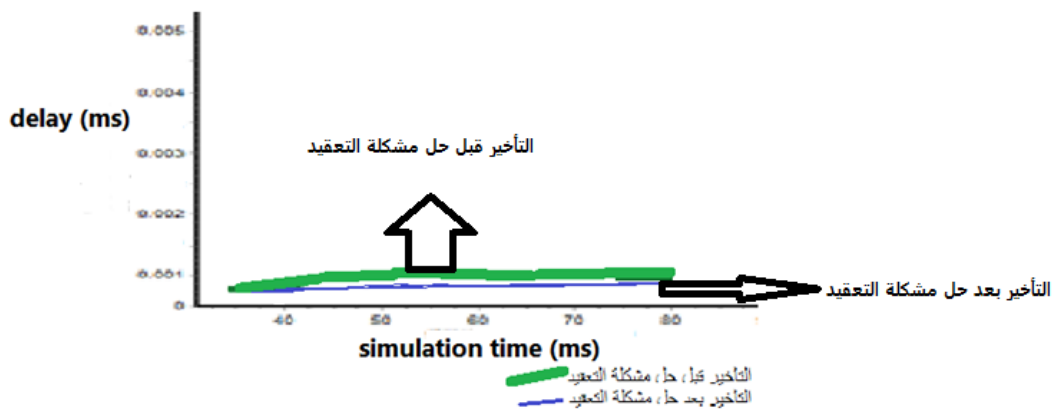
هنا لاحظنا أن قيمة التأخير قبل حل مشكلة التعقيد تساوي 0.004ms و بعد حل مشكلة التعقيد تساوي 0.003ms نظراً لأن الكثافة متوسطة فعمليات الانتخاب و المقارنة تسبب تأخيراً و نظراً لكثافة الشبكة المتوسطة فإن مرور قائد العنقود على العقد أيضاً يسبب تأخيراً أكبر فكلما كان عدد العقد أكبر ضمن الشبكة كلما كان عدد مرات المرور لقائد العنقود على العقد أكبر و بالرغم من ذلك فإن قيمة التأخير بعد خفيض التعقيد أقل من قيمة التأخير قبل خفيض التعقيد و هذا إيجابي لأن كلما انخفض مقدار التأخير الزمني كلما زادت سرعة و أداء الشبكة.

عند تطبيق السيناريو الثاني:

نطبق الآلية على شبكة منخفضة الكثافة (عدد قليل من العقد أقل من السيناريو السابق يغطي منطقة البحث و هو في هذا البحث 11 عقدة حساس و تكون الأبعاد بين هذه العقد متباعدة)،



الشكل (5) يوضح كثافة و توزيع العقد في السيناريو الثاني

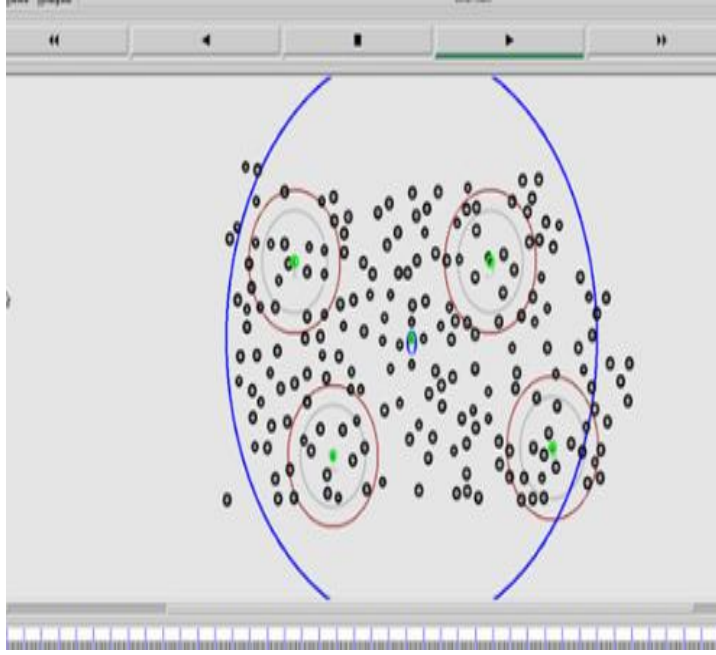


الشكل (6) يوضح التأخير الزمني في السيناريو الأول قبل و بعد تخفيض التعقيد البرمجي

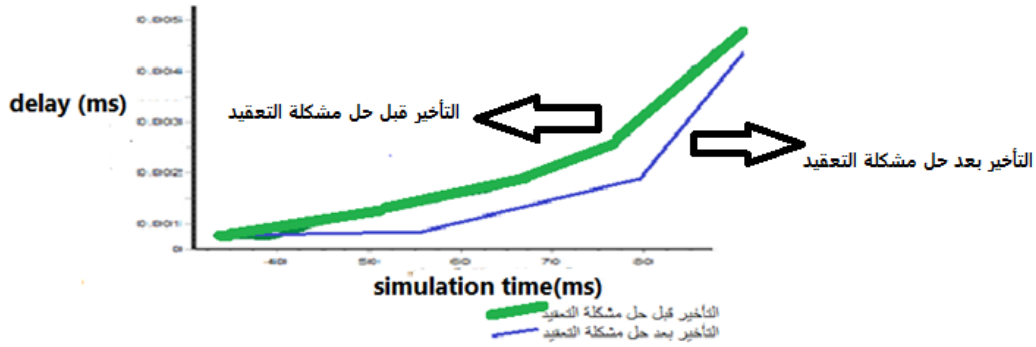
هنا لاحظنا أن قيمة التأخير قبل حل مشكلة التعقيد تساوي 0.0013ms و بعد حل مشكلة التعقيد تساوي 0.0009ms و هذا يُظهر تحسناً ملحوظاً في خفض قيمة التأخير الزمني في الآلية المتبعة في هذا البحث لتخفيض التعقيد الزمني ، كما نلاحظ أن مقدار التأخير الزمني في هذا السيناريو يكون أقل مما هو عليه في السيناريو السابق (شبكة ذات كثافة متوسطة) نظراً لأن الكثافة منخفضة فعمليات الانتخاب و المقارنة التي تسبب تأخيراً تكون أقل و نظراً لكثافة الشبكة منخفضة فإن مرور قائد العنقود على العقد يكون أقل من السيناريو الأول لأن عدد العقد أقل منها في السيناريو الأول و بالتالي يكون زمن الانتظار لدى قائد العنقود المتحرك أقل لذلك يكون التأخير الزمني أقل في هذا السيناريو من السيناريو الأول .

عند تطبيق السيناريو الثالث:

شبكة تحتوي 130 عقدة حساس (هذا العدد مناسب لرصد منطقة جغرافية ذات مساحة كبيرة لمراقبة التغيرات الحاصلة فيها من درجة حرارة و رطوبة و مراقبة حدود المنطقة).



الشكل (7) يوضح كثافة و توزيع العقد في السيناريو الثالث



الشكل (8) يوضح التأخير الزمني في السيناريو الثالث قبل و بعد تخفيض التعقيد البرمجي

هنا لاحظنا أن قيمة التأخير قبل حل مشكلة التعقيد يساوي $0.005ms$ و قيمة التأخير بعد حل مشكلة التعقيد تساوي $0.0045ms$ نلاحظ أيضاً في هذا السيناريو انخفاضاً في قيمة التأخير الزمني بعد تطبيق الآلية المقترحة في هذا البحث في حل مشكلة التعقيد الزمني ، كما نلاحظ أن قيمة التأخير الزمني في هذا السيناريو قبل و بعد تخفيض التعقيد الزمني أكبر منها في كل من السيناريوهين الأول (و الكثافة المتوسطة) و الثاني (و الكثافة المنخفضة) نظراً للكثافة الكبيرة للعقد إذ يكون على قائد العقود المتحرك المرور على عدد كبير من العقد مقارنة بالسيناريو هين السابقين فيكون لديه زمن انتظار أكبر مما يسبب تأخيراً زمنياً بالإضافة إلى الزمن المستغرق في عمليات الانتخاب إذ يكون أكبر مما هو عليه في السيناريو هين السابقين نظراً لعدد العقد الكبير مما يجعل من التأخير الزمني عندما تكون الشبكة كبيرة الكثافة أكبر مما هو عليه عندما تكون الشبكة منخفضة و متوسطة الكثافة .

5-الاستنتاجات و التوصيات:

- ✓ إن موضوع تخفيض التأخير الزمني عن طريق تقليل تعقيد الخوارزمية موضوع هام جدا يجعل من البحث فعال وقابل للتطبيق على أجهزة بسعات وقدرات معالجة مختلفة نظرا لمرونة تطبيقها وحجمها المنخفضة لذلك ننصح بالتوسع في هذا المجال وتعديل آلية الانتخاب لتخفيض التعقيد .
- ✓ عالج هذا البحث موضوع تخفيض التعقيد البرمجي على آلية تعتمد على التصنيف في عملها و نحن نعلم أهمية التصنيف في تسهيل العمل وتقسيم الشبكة وبالتالي إمكانية العمل على شبكات كبيرة نظرا لتقسيمها إلى مجموعات أقل لذلك ننصح بالتوسع في هذا المجال ودراسة إمكانية التصنيف بالاعتماد على أكثر من بارامتر وليس فقط بالاعتماد على بارامتر الطاقة.
- ✓لقد اعتمد هذا البحث على استخدام قائد عنقود متحرك وحقق ذلك إطالة في عمر شبكة الحساسات اللاسلكية كما لاحظنا في الدراسة [1]يمكننا في الأبحاث المستقبلية تعديل الآلية واستخدام العقد المتحركة في كافة الشبكة وليس فقط لقائد العنقود.
- ✓ننصح أيضا بدراسة التأخير الزمني لدى كل جولة و مقارنته مع الجولات الأخرى و إجراء التعديل البرمجي اللازم إن وجد.

المراجع:

- [1] Souliman , N." Proposing a technique for routing data between wireless sensor nodes for increasing the life time of Wireless sensor networks".*Tartous University Journal of Research and Learning Studies, Engineering Science Series 5.2(2021)*.
- [2] Heinzelman, Wendi Rabiner, Anantha Chandrakasan, and Hari Balakrishnan. "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks." *Proceedings of the 33rd annual Hawaii international conference on system sciences*. IEEE, 2000.
- [3] Mamoun, Mamoun. "Important Characteristic of Differences between DSR and AODV Routing Protocol." *MCN 2007 Conference, November*. Vol. 50. 2007.
- [4] Devarajan, K., and V. Padmathilagam. "An enhanced cluster gateway switch routing protocol (ECGSR) for congestion control using AODV algorithm in MANET." *International Journal of Computer Applications* 123.3 (2015).
- [5] Purohit, Rakhi, and Bright Keswani. "Node mobility impact on Zone routing protocol." *International Journal of Computer Applications* 975 (2015): 8887.
- [6] Gumaste, S. V., M. U. Kharat, and V. M. Thakare. "Performance analysis of DSR protocol." *International Journal of Scientific Engineering and Research* 1.3 (2013): 550-560.
- [7] Kumar, M. Ravi, Dr N. Geethanjali, and N. Ramesh Babu. "Energy Aware DSDV and FSR Routing Protocols in Mobile Ad Hoc Networks." *International Journal of Computer Trends and Technology (IJCTT)–volume 4* (2013).
- [8] Al-Rahayfeh, Amer A., Muder M. Almi'ani, and Abdelshakour A. Abuzneid. "Parameterized Affect of Transmission-Range on Lost of Network Connectivity (LNC) of Wireless Sensor Networks." (2010).
- [9] Ali, Loubna, Hervé Mathieu, and Frédérique Biennier. "Monitoring and Managing a Distributed Networks using Mobile Agents." *2006 2nd International Conference on Information & Communication Technologies*. Vol. 2. IEEE, 2006.
- [10] Saleh, Susi. *Méthodes de simulation des erreurs transitoires à plusieurs niveaux d'abstraction*. Diss. 2005.
- [11] Anbar, M., and D. P. Vidyarthi. "On demand bandwidth reservation for real-time traffic in cellular ip network using evolutionary techniques." *International Journal of Recent Trends in Engineering* 2.1 (2009): 150.