

## تتبع الحياة الحيوانية في المحميات الطبيعية باستخدام شبكات الحساسات اللاسلكية الهجينة

د.جمال خليفة<sup>1</sup>

بشرى حسن<sup>2</sup>

(تاريخ الإيداع 23 / 11 / 2017. قَبْلَ للنشر في 3 / 6 / 2018)

### □ ملخص □

التطور الكبير الذي حدث في مجال شبكات الحساسات اللاسلكية المتقلة له العديد من التطبيقات الهامة جداً، أحد أهم هذه التطبيقات التي أثارت اهتمام العلماء في الآونة الأخيرة هو تتبع الحيوانات في مواطنها من أجل متابعة سلوك وحياة بعض الحيوانات المهددة بالانقراض، لكن مراقبة نشاط الحيوانات في الغابات مهمة صعبة جداً وخصوصاً إذا كانت الحيوانات المراد مراقبتها صغيرة جداً، وبالتالي لا يمكن استخدام أنظمة التتبع التقليدية كنظام (GPS)، كذلك الطبيعة القاسية والخطيرة التي تتمتع بها الغابات جعل من استخدام شبكات الحساسات اللاسلكية هو الحل الأنسب وخاصة أن الحساسات في طبيعتها منخفضة التكلفة صغيرة الحجم فهي مناسبة لمثل هذه المهمات. سوف ندرس في هذا البحث طريقة جديدة لتتبع مجموعة من طيور الحجل، حيث يتم وضع الحساسات على هذه الطيور من أجل مراقبة نمط وسلوك حياتها، فالتحدي الهام في هذا البحث هو معرفة مواقع هذه الحيوانات المتحركة عند حاجتنا لذلك لنتمكن من تقديم المساعدة الضرورية لها وفي الوقت المناسب، لذلك سوف نقدم طريقة جديدة تؤمن لنا دقة مقبولة في تحديد مواقع الحيوانات لكن بطريقة بسيطة وسهلة وغير مكلفة وقليلة استهلاك الطاقة مقارنة مع الطرق الأخرى المتبعة في تتبع الحيوانات، وذلك بالاعتماد على مجموعة من العقد المرجعية المعروفة الموقع مسبقاً، حيث يتم إرسال معلومات الحساسات المتحركة إلى مجمع مركزي عن طريق هذه العقد المرجعية وتحليلها والاستفادة منها في تحديد موقع تقريبي للحيوان، سوف نقوم بتقييم هذه الطريقة باستخدام محاكي الشبكات (NS2).

**الكلمات المفتاحية:** شبكات الحساسات اللاسلكية، التموضع، خوارزميات التموضع، نظام تحديد الموقع العالمي

<sup>1</sup> إستاذ، قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية  
<sup>2</sup> طالب ماجستير، قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية

## Tracking animal life in the natural reserves by using hybrid wireless sensors networks

Dr. Jamal Khalifa\*  
Bushra Hasan\*\*

(Received 23 / 11 / 2017. Accepted 3 / 6 / 2018)

### □ ABSTRACT □

The great development of mobile wireless sensor networks has many very important applications. One of the most important applications that has attracted scientists' attention recently is to track animals in their homes to follow the behavior and lives of some endangered animals, but monitoring animals activities in the forest is a very difficult task, especially if the animals to be monitored are teeny, therefore we cannot use the traditional tracking systems ) like GPS, As well as the harsh and dangerous nature of the forest make the use of wireless sensor networks the best solution, especially that sensors are low-cost, small size, which made them suitable for such tasks, in this research we will study new way to track a group of partridge where sensors are placed on these birds to observe their life and behavior ,The important challenge in this research is to know the location of these mobile birds to be able to the help them in appropriate time , so will introduce a new method that provides us with acceptable accuracy, a simple, easy, inexpensive and low energy consumption compared with other methods of animals tracking ,based on a set of predefined reference nodes, where sensors information is sent to a gathering center through these reference nodes ,then Analyze it and use it to the approximate location of the animals. We will evaluate this method using Network Simulator (NS2).

**Keywords:** wireless sensor network , localization, localization algorithms.

## مقدمة:

تعد شبكات الحساسات اللاسلكية (wireless sensor network) ذات خصائص فريدة تجعلها مناسبة لكثير من التطبيقات، وقد لوحظ حديثاً نمو مثير للاهتمام في التطبيقات المعتمدة على هذه الشبكات، فصغر حجم هذه الحساسات وانخفاض تكلفتها يتيح نشرها بكميات كبيرة، كما أن إمكانية إعداد العقد لنفسها ضمن الشبكة يجعلها قابلة للنشر في جميع البيئات وخاصة تلك التي يصعب الوصول إليها [1]. والأمر الأكثر أهمية في هذه الشبكات هو معرفة مواقع العقد في الشبكة بعد نشرها، فتموضع عقد الحساسات في الشبكة يساعدنا في عملية التوجيه، بالإضافة إلى الاستغلال الأمثل لموارد الشبكة المحدودة بالأصل [2]، ومن أهم تطبيقات التموضع في شبكات الحساسات اللاسلكية هو التعقب (Tracking Target) والذي يعرف على أنه ملاحقة هدف (شخص - حيوان - آلة) ضمن منطقة تغطية الشبكة، ومن أهم تطبيقات التعقب (Tracking) المتزايدة في الآونة الأخيرة هو تتبع حياة الحيوانات (Tracking animal) في محمياتها وأماكن سكنها الطبيعي، فكيف تعيش الحيوانات في مواطنها؟ إلى أين تذهب؟ وماذا تفعل؟ هذه الأسئلة حول طبيعة حياة الحيوانات في محمياتها الطبيعية بدأت تزداد في الآونة الأخيرة، لكن مراقبة نشاط الحيوانات في الغابات مهمة صعبة جداً خصوصاً إذا كانت الحيوانات المراد مراقبتها صغيرة جداً، كذلك الطبيعة القاسية والخطيرة التي تتمتع بها الغابات والتي تحول دون قدرة الإنسان للوصول إليها، وبالتالي كان استخدام شبكات الحساسات اللاسلكية في مثل هذه المهمة هو الحل الأنسب [3]، بعض الأبحاث التي اتبعت الطرق التقليدية في مراقبة الحيوانات منها ما استخدم كاميرات للمراقبة يتم وضعها على مسار الحيوان المراد مراقبته وفي مواقع استراتيجية، وهناك أنظمة تعقب تعتمد على (GPS) (GPS-based animals tracking systems)، حيث يتم وضع أجهزة (GPS) على جسم الحيوان المراد تحديد موقعه، وبعض الطرق الأخرى استخدمت بطاقة توضع على جسم الحيوان (RFID tag)، ويتم تمييز هذه العلامة عندما يمر الحيوان ضمن مدى قارئ لهذه البطاقة (RFID reader) لكن هذا المدى محدود جداً وبالتالي هذا يتطلب عدد كبير من (RFID readers)، كذلك بعض الطرق استخدمت قياسات قوة الإشارة المستقبلية (RSSI) في حساب مواقع الحيوانات، في هذا البحث سوف نقدم طريقة جديدة لتتبع ومراقبة مجموعة من طيور الحجل في مساكنها الطبيعية وذلك باستخدام شبكة حساسات لاسلكية هجينة أي سيتم وضع حساسات على الحيوانات لمراقبة حالتها وبالتالي يكون لدينا عقد متحركة في الشبكة، كذلك سوف ننشر مجموعة من العقد الثابتة المعروفة الموقع مسبقاً والاستعانة بها في تحديد الموقع التقريبي لتلك الحيوانات المتحركة، ويتم تجميع المعلومات المتعلقة بالحيوانات في مجموعات مركزية تنشر لهذا الغرض.

## أهمية البحث وأهدافه:

تتجلى أهمية هذا البحث بأنه يقدم نموذج جديد لتتبع الحيوانات في مساكنها باستخدام شبكات الحساسات اللاسلكية، وبعيداً عن الطرق التقليدية الأخرى المتبعة والتي قد تعطل من السلوك الطبيعي للحيوان، ويعطي دقة جيدة في تحديد مواقع هذه الحيوانات دون الاعتماد على أجهزة (GPS) المكلفة التي تصرف الكثير من الطاقة والتي يتعذر استخدامها في مثل هذه البيئات الداخلية، وقد أثبت هذا النموذج فعالية في الأداء وذلك وفقاً للتطبيق العملي من حيث الدقة الجيدة التي حصلنا عليها بالإضافة إلى أنه نموذج بسيط منخفض التكلفة وقليل استهلاك الطاقة مقارنة مع الدراسات المرجعية الأخرى، وتتلخص أهداف هذا البحث في تقديم طريقة جديدة لتتبع الحياة الحيوانية في المحميات الطبيعية ودون

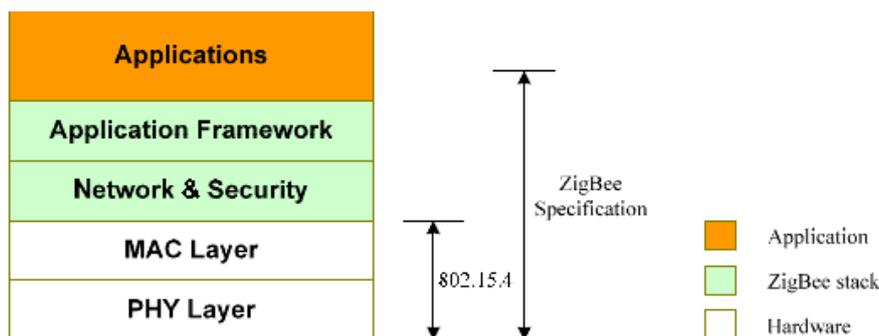
- الاعتماد على أي أجهزة إضافية لتحديد مواقعها والتي تزيد من التكلفة . ويهدف إلى دراسة فعالية هذه الطريقة باستخدام المحاكاة الحاسوبية وتقييمها على أساس :
- ✓ الحصول على دقة جيدة في تحديد موقع الحيوان المتحرك والتخفيض من خطأ التموضع ( localization error) قدر الإمكان.
  - ✓ تقديم طريقة جديدة تحقق استهلاك طاقة أقل مقارنة مع الطرق المرجعية الأخرى المستخدمة وبالتالي زيادة زمن حياة الشبكة ككل.

## طرائق البحث ومواده:

لاختبار الخوارزمية المقترحة قمنا ببناء سيناريو المحاكاة باستخدام برنامج محاكي الشبكات Network Simulator 2، وهو برنامج محاكاة مفتوح المصدر يعتمد مبدأ محاكاة الأحداث المنقطعة. استخدمنا الإصدار NS2.35، ويعتبر هذا المحاكي غني جداً بالعديد من مكونات وبروتوكولات الشبكات ويرتكز في عمله داخلياً على لغتين هما ++C (لكفاءتها وسرعتها في التنفيذ وتكتب بها البروتوكولات والمكونات الثابتة التي لا تتغير ) و TCL (بطيئة التنفيذ لكنها سريعة التعديل وتكتب بها أوامر المستخدم ) وبالتالي جمع هذا المحاكي بين سرعة التنفيذ وسرعة التعديل من هاتين اللغتين. سنقوم باستخدام هذا المحاكي لاختبار شبكة حساسات لاسلكية تعمل في الوضع المتزامن وتحتوي على مجموعة من العقد مكتملة الوظائف بعضها ثابت ( منارات Beacons) والبعض الآخر متحرك (animals)، وتم استخدام بروتوكول AODV لتحويل البيانات في الشبكة، حيث سيكون لدينا نوعين من الرسائل، رسائل ترسل إلى العقد المجاورة بقفزة واحدة single hops مثل رسائل المنارة ورسائل تنتقل بوضع تعدد القفزات (multi hops) وهي الرسائل المرسله من قبل الحيوان إلى محطة المراقبة عن طريق عقد المنارة. والمجمعات المركزية.

### 1. معيار IEEE802.15.4: [4]

صمم هذا المعيار من قبل جمعية مهندسي الكهرباء والالكترونيات من أجل تحديد البروتوكولات وآليات الترابط الراديوي في شبكات المناطق الشخصية (PAN personal area networks)، ويوفر هذا المعيار إمكانية التراسل الراديوي بسرعة قليلة واستهلاك طاقة منخفض وتعرف الشبكات التي تعمل وفقاً لهذا المعيار بشبكات المناطق الشخصية اللاسلكية منخفضة الاستطاعة (low power wireless personal area networks) وتعد شبكات الحساسات اللاسلكية إحدى أصناف (low PANs)، كما تعد شبكات zigbee من أشهر شبكات الحساسات اللاسلكية التي تعمل وفق المعيار IEEE802.15.4، يتبع هذا المعيار النموذج المرجعي للطبقات وفق نموذج ترابط الأنظمة المفتوحة (OSI open systems interconnection) ويحدد مواصفات الطبقة الفيزيائية وطبقة الـ MAC دون تحديد مواصفات بروتوكولات الطبقات الأعلى وهذا ما وفر الحرية في تطوير تقنيات مختلفة مثل تقنيتي zigbee و 6LOWPAN، والتي حددت مواصفات الطبقات الأعلى ويوضح الشكل (1) بنية المعيار IEEE 802.15.4.



الشكل (1): بنية معيار IEEE 802.15.4

## 2. أهمية تحديد الموقع في شبكات الحساسات اللاسلكية

في أغلب الأحيان نضطر لنشر عقد الحساسات عشوائياً من على متن طائرة مثلاً، وينجم عن هذا النشر العشوائي العديد من المشاكل من أهمها مشاكل التموضع (Localization)، وهو تقدير إحداثيات عقدة مجهولة الموقع في الشبكة، فالبيانات التي تقدمها الحساسات تفقد أهميتها إذا كانت خالية من معلومات الموقع وقد يؤدي أيضاً هذا الأمر إلى تفسير خاطئ لهذه البيانات [5].

قد يكون نظام تحديد الموقع العالمي خيار جيد فهو يؤمن دقة مقبولة، لكن في بعض التطبيقات فإن استخدام مستقبلات (GPS) غير مجدي سواء من حيث صرفها الكبير للطاقة أو من حيث الوزن الكبير لها، كذلك صعوبة استخدامه بسبب كلفته العالية، ويسبب العوائق والتضاريس والغابات الكثيفة فهذا النظام لا يعمل في البيئات الداخلية لأنه يتطلب خط نظر بين المرسل والمستقبل لذلك كان لابد من استخدام خوارزميات التموضع، وتشارك أغلب جميع خوارزميات التموضع في ثلاث مراحل أساسية:

- تقدير المسافة (Distance Estimation): يتم هنا تقدير المسافة النسبية بين العقد باستخدام مجموعة من التقنيات.

- حساب الموقع (Position Computation): يتم هنا تقدير موقع العقدة بالنسبة إلى عقدة أخرى معروفة الموقع.
- خوارزميات التموضع (Localization Algorithms): يتم في هذه المرحلة ربط معلومات المسافة والموقع لتحديد موقع العقدة بدقة.

## 3. تقنيات تخمين المسافة [6]

يمكن تصنيف تقنيات تخمين المسافة إلى صنفين أساسيين وهما:

### 3.1 تقنيات غير معتمدة على المدى (Range Free):

يعتمد المبدأ الأساسي لعملها على أنه إذا تمكنت عقدتان من الاتصال فإن المسافة بينهما، وباحتمال كبير، ستكون أصغر من مدى إرسالهما الأعظمي المحدود بمسافة معينة (R)، تعتمد دقتها على كثافة العقد، وعدد العقد المرجعية معروفة الموقع وعلى هيكلية الشبكة. هذه الطريقة تمتاز بالبساطة والتكلفة المنخفضة وتناسب التطبيقات التي لا تكون فيها دقة الموقع حرجة.

### 3.2. تقنيات معتمدة على المدى (Range Based):

#### 3.2.1. زمن الوصول: (Time Of Arrival) TOA :

تستخدم زمن الإرسال و سرعة الانتشار و زمن الوصول (للإشارة) لحساب المسافة وفق العلاقة التالية :

$$\text{المسافة} = \text{السرعة} * \text{الزمن}$$

سيئاتها : تحتاج إلى تزامن في الإرسال و الاستقبال.

#### 3.2.2. مؤشر قوة الإشارة المستقبلية (RSSI (Received Signal Strength Indicator):

قوة الإشارة الراديوية تتناسب عكساً مع المسافة، وبالتالي باستخدام نموذج انتشار راديوي يمكن تحويل قوة الإشارة إلى مسافة.

سيئاتها : تعاني من مشكلة في الدقة بسبب تغير شدة الإشارة تبعاً لتغيرات البيئة المحيطة.

#### 3.2.3. زمن اختلاف الوصول (Time Difference Of Arrival) TDOA:

هذه الطريقة تستخدم إشارتين مختلفتين في الإرسال والاستقبال كما أن هناك سرعتين مختلفتين في الإرسال والاستقبال، ويتم حساب الفرق بين زمني الوصول لحساب المسافة.

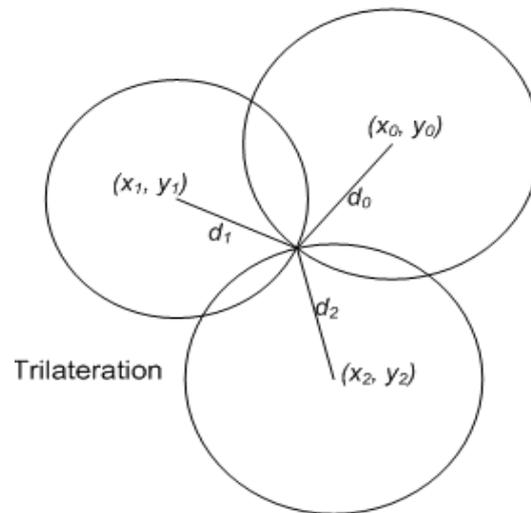
#### 3.2.4. زاوية الوصول (Angle Of Arrival) AOA:

- يعتمد على الهوائيات المصفوفية من أجل تحديد زاوية الورد .
- يجب على الطرفين أن يكونا قادرين على تحديد زاوية الورد .
- في حالة أن الهدف يعرف اتجاهه فإنه يلزمنا اتصال الهدف مع حساسين .
- عندما لا يعرف الهدف اتجاهه فإن الهدف يجب أن يكون على اتصال مع ثلاثة حساسات.

### 4. تقنيات حساب الموقع (Position Computation Techniques):

#### 4.1. تقنية المسح النقطي (lateration):

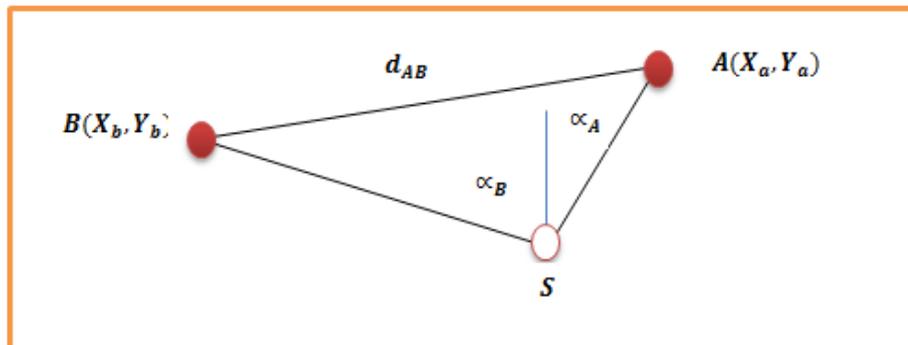
في هذه الطريقة يتم حساب موقع العقدة من خلال ثلاث عقد مرجعية معروفة الموقع مجاورة لها (Trilateration)، وعند استخدامها مع فضاء ثلاثي الأبعاد نحتاج إلى أربع عقد (Multilateration) ، يتم تحديد موقع العقدة عن طريق تقاطع ثلاث دوائر مراكزها ثلاث عقد مجاورة معروفة الموقع ، ونصف القطر هو المسافة من هذه العقدة إلى العقدة المطلوب تحديد موقعها [7]. ومن سيئاتها لأن معلومات المسافة قد تكون خاطئة وبالتالي يمكن للدوائر أن لا تتقاطع ويبين الشكل (2) هذه التقنية .



الشكل(2): تقنية Trilateration

#### 4.2. تقنية التثليث المساحي (Triangulation):

هنا يتم استخدام ثلاث عقد مرجعية على الأقل و من ثم يتم حساب موقع العقدة من خلال الزوايا بالنسبة للعقد المرجعية التي تشكل مثلثا وبالاعتماد على قوانين المثلثات [7] كما في الشكل (3).



الشكل(3): تقنية Triangulation

#### 4.3. تقنية التموضع بمطابقة الأنماط (Pattern Matching Localization):

تدعى أيضاً بالخوارزمية المعتمدة على البصمة (Fingerprint Algorithm) وتتضمن طورين اثنين :  
 الطور الأول (Offline): تسجل بارامترات الإشارة القادمة من العقد في قاعدة بيانات تسمى بالخريطة الراديوية.  
 الطور الثاني(Online):تعمل فيه الحساسات ويتم فيه حساب الخريطة.  
 يتم تقدير موقع العقدة من خلال مقارنة مواصفات الإشارة الملتقطة مع القيم مسبقاً التسجيل في الخريطة، تعاني هذه التقنية من تقلبات الجو لأنها تكون قد سجلت بارامترات الإشارة في الطور الأول فتكون بحاجة لإعادة تنفيذ الطور الأول من جديد في الجو الجديد [7].

## 5. خوارزميات تحديد الموقع (Localization Algorithms)

من هذه الخوارزميات:

### 5.1. خوارزمية MDS (rang-free anchor-free methods):

في هذه الخوارزمية كل عقدة (حساس) تشكل خريطة محلية لتوزع العقد (الحساسات) الموجودة على بعد قفرتين منها بالاعتماد على عمليات الاتصال الرئيسية التي تجري بينها . بعد ذلك كل الحساسات بالشبكة تتواصل مع بعضها لتجمع هذه الخرائط المحلية و لتشكل في النهاية الشكل النهائي للمتوضع العام للشبكة، هذه الخوارزمية تعاني من صعوبة تشكيل الخريطة النهائية، بالإضافة لعدم الدقة في تحديد الموقع الدقيق للحساسات وهي تستخدم خوارزميات DV(Distance, hop) لتشكيل مصفوفة المسافة [8].

### 5.2. خوارزمية (LPD) The Local Position Discovery:

الهدف من هذه الخوارزمية هو بناء مخطط محلي لأماكن تواضع الحساسات (خريطة محلية) ضمن كل عنقود (cluster)، و ذلك انطلاقاً من عقدة البوابة في كل عنقود [9].

### 5.3. خوارزمية تموضع مع عقد بيكون متحركة ( Localization with Mobile Beacon )

(LMB):

يتم تحديد مواقع جميع العقد في الشبكة بالاعتماد على عقدة واحدة متحركة (MB) مزودة بمستقبل (GPS) تقوم ببث رسائل في الشبكة تتضمن إحداثياتها، وعندما تستقبل العقدة المجهولة ثلاث رسائل من العقدة المتحركة تقوم بحساب موقعها [10].

## 6. أنظمة تتبع الحيوانات (Animal Tracking Systems) [11]

ومن أهم تطبيقات التموضع المستخدمة هي تطبيقات تتبع الحيوانات في مساكنها الطبيعية، والمعلومات التي يمكن أن نحصل عليها ونحتاجها هو مواقع هذه الحيوانات أي معرفة موقع الحيوان مع مرور الوقت وتدعى هذه العملية (radio-tracking) ، كذلك هناك معلومات فيزيولوجية تخص الحيوان وتساعدنا في تقييم حالته الصحية وتقديم المساعدة له في حال احتاج إليها ومن هذه المعلومات (درجة الحرارة ، معدل نبض القلب، معلومات عن نشاطه، درجة حرارة المناخ المحيط ، رطوبة الطقس ) وهذه العملية التي يتم فيها الحصول على هذه المعلومات الفيزيولوجية تدعى (Telemetry)، وقد اختلفت وتتنوع أنظمة تتبع الحيوانات في العالم منذ أن بدأت عام 1960 م وحتى يومنا هذا ، فقد كان هناك صعوبة في تتبع كائن بيولوجي في منطقة كبيرة، لذلك يتم دمج الجهاز في جسم الحيوان ومع ذلك مازال هناك قيود وقواعد لربط الأجهزة على جسم الحيوان فبشكل عام لا يجب أن يتجاوز وزن الجهاز (5%) من وزن الحيوان لتجنب التأثيرات الضارة على سلوكه، فوزن الحيوان المراد مراقبته له دور كبير في تحديد التقنية الواجب استخدامها في الأجهزة المنشورة على الحيوانات ، كذلك هناك علاقة بين وزن الجهاز وعمره بسبب الوزن الذي تساهم فيه البطارية من الوزن الكلي للجهاز .

### الدراسات المرجعية:

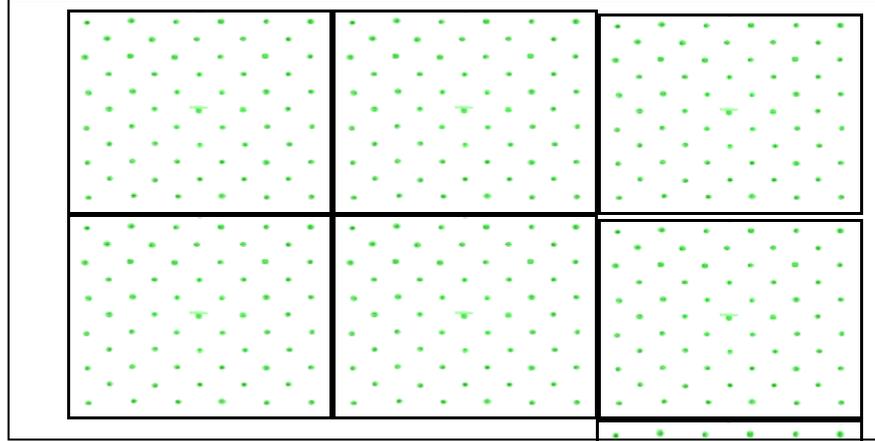
هناك العديد من الأبحاث التي تناولت موضوع تتبع الحيوانات ، بدأت هذه العملية في [12] حيث تم استخدام نظام (Very High Frequency System) ، حيث يتم إرسال إشارات راديوية من قبل جهاز مرسل متوضع على الحيوان لكن هذه الطريقة محدودة التغطية، فمستقبل البيانات يجب أن يكون ضمن مدى الحيوان حتى يحدد موقعه فلا يناسب

الحيوانات التي تتحرك على مسافات كبيرة ، وفي [13] تم استخدام الأقمار الصناعية (ARGOS) لمراقبة أنواع من الطيور ومن ميزات هذا النظام أنه يؤمن تغطية عالمية لكنه يعاني من التكلفة المرتفعة والدقة المنخفضة مقارنة مع الأنظمة الأخرى بالإضافة إلى القيد الموجود على أجهزة الإرسال لأنها تعمل على نفس التردد (منعاً للتداخل) ، وفي العديد من الأبحاث تم استخدام نظام (GPS) وهو وضع مستقبلات على جسم الحيوان تستقبل إشارات من القمر الصناعي وهذا النظام يؤمن تغطية عالمية لكنه كسابقه مكلف ومستهلك كبير للطاقة [14] ، في [15] تم استخدام بطاقات (RFID) لها رقم تعريف خاص بها توضع على جسم الحيوان وتثبت رقم التعريف الخاص بها إلى الجوار ، هذه الطريقة هي الأكثر كفاءةً من حيث التكلفة لكنها ذات مدى محدود جداً وهذا يتطلب عدد كبير من قارئات (RFID Readers) ، فهي مفيدة فقط لتتبع إذا كان الحيوان موجود في منطقة ما أو غير موجود ، في أبحاث أخرى تم استخدام كاميرات يتم وضعها على درب الحيوان في أماكن استراتيجية وتقوم بالتقاط صور له لكن هذه الطريقة تناسب فقط الحيوانات التي لها دروب محددة (نمور وأسود).

لاحظنا أن جميع الطرق السابقة تزودنا بمعلومات موقع الحيوان فقط ولا تقدم أية معلومات أخرى بشأن حالته الصحية لذلك تم التوجه لاستخدام شبكات الحساسات اللاسلكية لمثل هذه المهمة فنلاحظ في [16] تم استخدام نظام (Automated Radio Telemetry System ARTS) في غابة استوائية في جزيرة (BarroCarolado) ، هذا النظام الذي استخدم أبراج تم نشرها في الغابة تتوضع عليها وحدات استقبال متصلة بهوائيات تستقبل الإشارات المرسله من الحساسات المتوضعة على الحيوانات، ويتم تحديد موقع الحيوان إذا وقع ضمن مدى ثلاث أبراج أو أكثر ، استخدم هذا النظام لمراقبة أكثر من 38 نوع من الحيوانات وقد أعطى دقة متغيرة ما بين وسط الغابة وأطرافها وصلت لحدود (50m) لكن إذا ما تمت مقارنته مع نظام (GPS) فإنه قد خفض التكلفة بمقدار عشر أضعاف تقريباً ، ونلاحظ كذلك تطبيق لشبكات الحساسات هو مشروع (Zebranet) في [17] حيث تم وضع حساسات على الحيوانات كل منها مجهز بمستقبل (GPS) للتزويد بمعلومات الموقع ويتم جمع المعلومات من الحيوانات عن طريق (Sink) متنقل ، لكن هذه الطريقة تعد مكلفة إذا ما أردنا تزويد كل حيوان بجهاز (GPS) لتحديد موقعه، هناك مشروع آخر لمراقبة مجموعة من الطيور هو (Great Duck Island GDI)، حيث تم نشر حساسات ثابتة في أعشاش البط لمراقبتها تتصل هذه الحساسات عبر بوابة عبور مع محطة مراقبة عبر الأقمار الصناعية [18] ، وقد أظهرت النتائج أن استهلاك الطاقة يزداد بازدياد عدد القفزات لذلك فهذا النظام يناسب مراقبة حساسات ثابتة في مناطق جغرافية محدودة ، وفي [19] نلاحظ نظام يستخدم قوة الإشارة المستقبلية ويعتمد على تقنية مطابقة الأنماط في تخمين موقع الحيوان ، لكن هذه الطريقة تستنزف الكثير من الطاقة في عملية تشكيل الخريطة الراديوية كما أنها تتأثر كثيراً بعوامل الجو لأنه يتم أخذ قياسات قوة الإشارة في طور أول فنضطر لإعادة هذا الطور في الجو الجديد ، لكنها أعطت خطأ تموضع مقبول يتراوح (1.2-3.5 m) ، أما في [20] فنلاحظ أيضاً مقارنة بين نظامين يعتمدان على قوة الإشارة المستقبلية الأول يعتمد قياسات قوة الإشارة المرجعية والثاني يعتمد قوة الإشارة المعتمدة على الوزن فنلاحظ أن خطأ التموضع قد انخفض من (1.7-10m) في الأول إلى (2-6m) في الثاني ، لكن في المجمع جميع الطرق السابقة التي استخدمت قياسات قوة الإشارة تعاني من انخفاض دقة هذه القياسات بسبب تأثرها بعوامل الجو والعوائق والتضاريس وخاصة في بيئة داخلية كالغابات .

## 7. خوارزمية العمل المقترحة

سنقوم في دراستنا بتتبع مجموعة من طيور الحجل في محمية طبيعية، وفي البداية سنقوم بتقسيم منطقة التتبع لمجموعة من المناطق الفرعية وتنفيذ المحاكاة على منطقة فرعية واحدة وتكرار هذا السيناريو عند الحاجة إليه حسب مساحة المحمية وعند الرغبة، ويبين الشكل (4) نموذج للمنطقة الكلية المراد تصميمها وتقسيمها لمناطق فرعية وكيفية توزيع العقد فيها :



الشكل (4) توزيع العقد في المنطقة الكلية

أولاً تبدأ عقد المنارات (Beacons) بإرسال رزم دورية في الشبكة من أجل الارتباط مع الحساسات المتحركة الموجودة ضمن مدى إرسالها، وأي حيوان يقع ضمن مجال إرسال العقدة سوف يستقبل هذه الرزمة ويستعد لإرسال بياناته، وهنا يكون لدينا أكثر من حالة :

**حالة (1):** يمكن أن يتواجد حول الحيوان عقدة منارة واحدة فقط وبالتالي سوف يستقبل إشارة من هذه العقدة ويرسل رزمة إلى المجمع المركزي (منسق الشبكة Network coordinator) تتضمن عنوانه و معلومات عن حالته الصحية عن طريق عقدة المنارة هذه معروفة الموقع وبالإستفادة من نظام العنوان (DAAM)، يمكن معرفة عنوان عقدة المنارة من قبل المجمع المركزي من خلال عنوان الحساس المتحرك المرتبط بها، حيث يقوم منسق الشبكة بداية بتحديد العدد الأعظمي للأبناء  $C_m$  والذي يمكن لأي عقدة أن تمتلكه، كذلك العدد الأعظمي من الموجهات  $R_m$  (عقد المنارات)، وباقي المحطات تكون محطات طرفية  $ZED_s$  (الحيوانات)، كما يقوم بتحديد العمق الأعظمي بالشبكة من خلال البارامتر  $L_m$ ، افتراضياً يمتلك المنسق مؤشر عمق يساوي إلى الصفر بينما أبنائه الأوائل يمتلكون مؤشر عمق يساوي  $1/1$ ، ولكل عقدة مؤشر عمق يساوي عدد الففقات الواجب على الرزمة اتباعها لكي تصل بالنهاية إلى المجمع المركزي (المنسق)، يستخدم كل موجه في الشبكة البارامترات  $(R_m, L_m, C_m)$  لحساب التابع ( $C_{skip}$  function) والذي يحدد حجم العناوين الفرعية الذي يمكنه إسنادها، فإذا كان عمق الموجه  $d$  يمكن حساب التابع ( $C_{skip}(d)$ ) بالعلاقة التالية :

$$C_{skip}(d) = \begin{cases} 1 + Cm * (Lm - d - 1) & \text{if } Rm = 1 \\ \frac{1 + Cm - Rm^{Lm-d-1}}{1 - Rm} & \text{if } Rm <> 1 \end{cases} \quad (1)$$

لنفترض أن الموجه الأب (عقدة المنازة) بعمق  $d$  وتمتلك العنوان ( $A_{parent}$ )، ويكون عنوان الموجه الابن ( $A_{child}$ ) الذي ترتيبه  $n$  كالتالي:

$$A_{child} = A_{parent} + (2) * C_{skip}(d) + 1; n = 1$$

$$A_{child} = A_{parent} + \dots + 1 * C_{skip}(d); n > 1$$

$n$ : ترتيب العقدة الابن

حالة (2): يمكن للحيوان أن يقع في لحظة معينة ضمن منطقة الإرسال لأكثر من عقدة منازة ، فإذا فرضنا أن إحداثيات عقد المنارات المجاورة للحيوان والتي استقبل منها إشارة هي كالتالي:

$$(idB1(x1,y1), idB2(x2,y2), idB3(x3,y3) \dots idBn(xn,yn))$$

وبالتالي الحيوان سوف يستقبل إشارة من هذه العقد ويقوم بإعداد رزمة تتضمن عنوانه وعناوين عقد المنازة هذه والتي استقبل منها إشارة، ثم يوجه هذه الرزمة إلى إحدى عقد المنازة المجاورة له لتقوم بدورها بإرسالها إلى المجمع المركزي . المجمع المركزي يقوم بحساب الموقع التقريبي للحيوان من خلال تحليل الرزم المستقبلية من الحساس المتحرك والاستعانة بالمواقع المعروفة لعناوين عقد المنارات المدرجة في الرزمة، فإذا كان موقع الحيوان الحقيقي هو  $id(x, y)$  فإننا سوف نحصل على موقع تقريبي للحيوان هو  $id'(x', y')$ ، حيث  $x'$  هي متوسط مجموع إحداثيات عقد المنارات على المحور الأفقي أما  $y'$  هي متوسط مجموع إحداثيات عقد المنارات على المحور العمودي كالتالي:

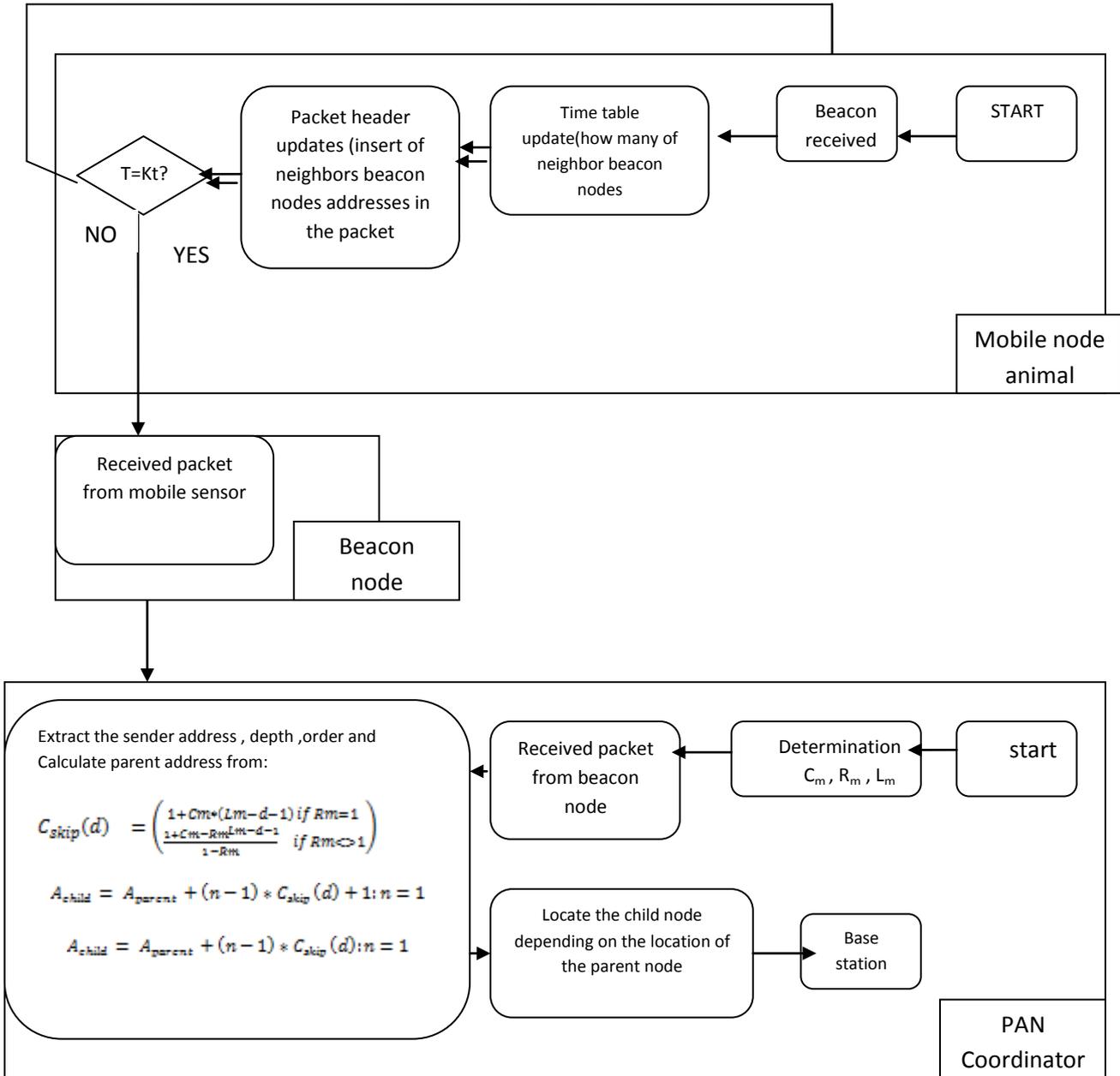
$$(3) \quad x' = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

$$y' = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n}{n}$$

( $n$ ): عدد عقد المنارات الكلية

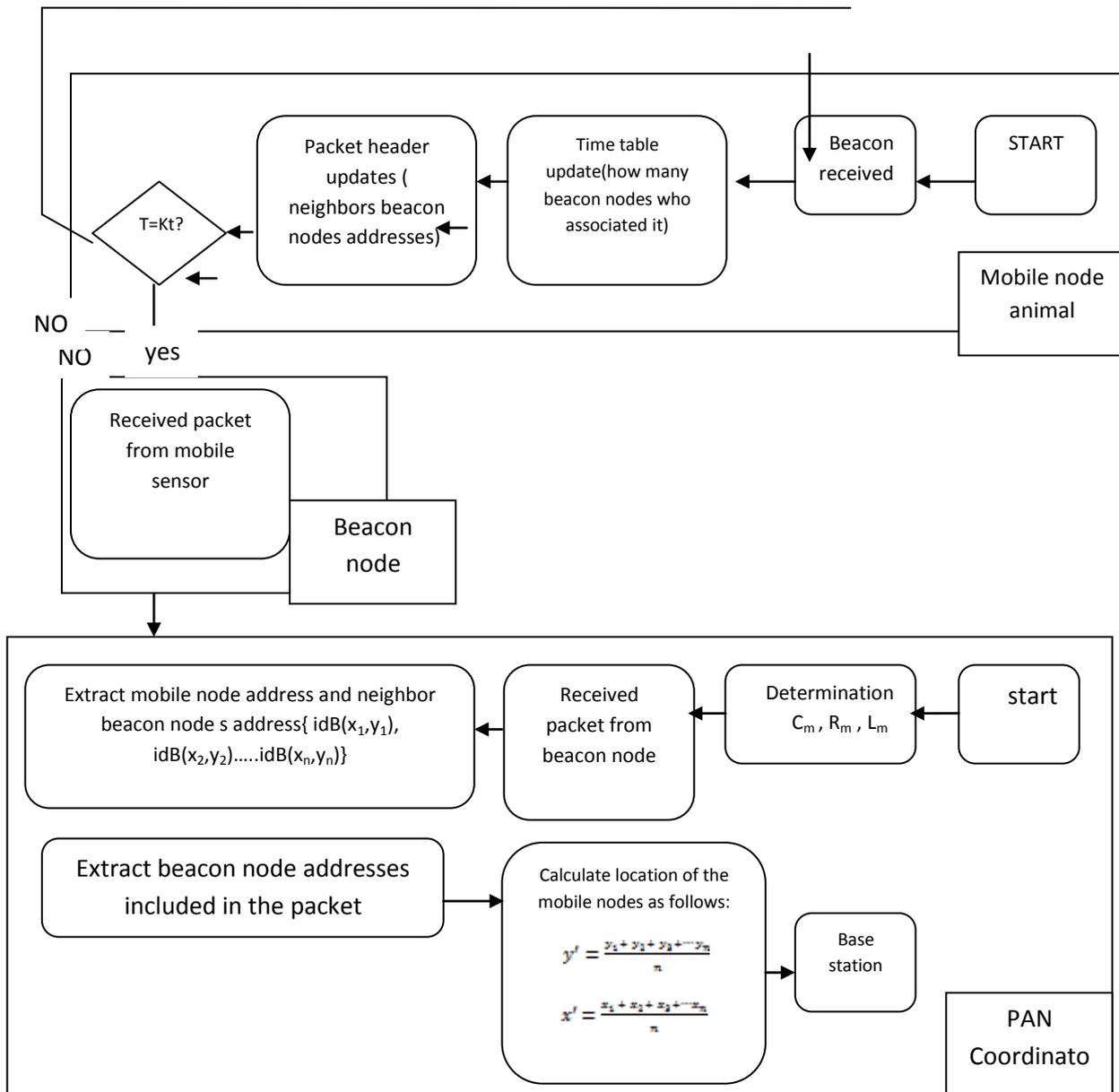
ويبين الشكل (5) مخطط خوارزمية العمل المقترحة:

حالة (1):



الشكل (5) مخطط خوارزمية العمل المقترحة ..حالة (1)

حالة (2)



الشكل (5) : مخطط خوارزمية العمل المقترحة ... حالة (2)

NO YES

## 8. المحاكاة والنتائج:

قمنا بتطبيق الخوارزمية المقترحة، ومن خلال المحاكاة اختبرنا الخوارزمية وقارناها مع الطرق الأخرى المستخدمة في الدراسات المرجعية من حيث الدقة التي حصلنا عليها وبساطتها وتكلفتها المنخفضة للطاقة.

### 8.1. سيناريو المحاكاة:

قمنا بإجراء المحاكاة على شبكة مؤلفة من 60 عقدة منارة ثابتة، و 6 حساسات (حيوانات) تتحرك ضمن المنطقة بحركة عشوائية بحيث مساحة العمل هي  $(120*120m^2)$ ، و (PAN coordinator) واحد في منتصف مساحة العمل.

وقد تم اختيار نموذج الحركة بحيث تتحرك الحساسات بسرعة  $(0.5 m/s)$ . تم اختيار بروتوكول توجيه AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector) لأنه الأكثر استخداماً في هذه الشبكات وهو مناسب لهذا الحجم من الشبكات ويوضح الجدول (1) بارامترات المحاكاة التي تم اعتمادها وقد أخذنا سرعة وسطية وهي  $(0.5m/s)$  لأن الحجل بطبيعته قليل الطيران ونحن يهمنا تحديد موقعه في حالة المشي وهي سرعة مناسبة وقد أخذنا مساحة العمل  $(120*120m^2)$ ، وتم اعتبارها كقالب تم تكراره على بقية مناطق المحمية حسب مساحتها.

الجدول (1) بارامترات المحاكاة.

Parameters (البارامتر)	Values (القيمة)
Environment Size (حجم بيئة المحاكاة)	120m X 120m
Number of fixed nodes (عدد العقد الثابتة)	60
Number of mobile nodes (عدد العقد المتحركة)	6
Packet Size (حجم الرزمة)	100 bytes
Packet Type	CBR
Transmit rang (مجال الإرسال)	20m
MAC Protocol (بروتوكول طبقة MAC)	IEEE 802.15.4
Routing protocol (بروتوكول التوجيه)	AODV
Animal speed (سرعة الحيوان)	0.5m/s
Visualization Tool (أداة الإظهار)	NAM

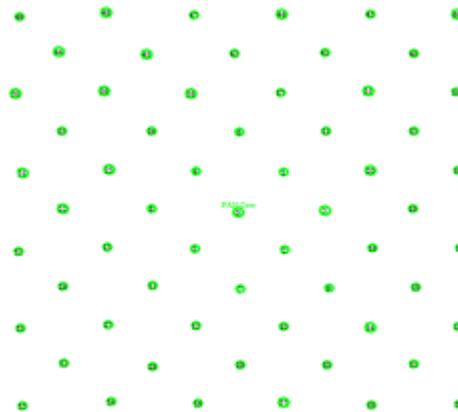
قمنا باعتماد السيناريو التالي لتقييم أداء الخوارزمية:

شبكة مؤلفة من 60 عقدة منارة و 6 حساسات متحركة (61,62,63,64,65,66) ، ويوضح الجدول (2) مسار كل حساس من الإحداثيات (X1،Y1) إلى الإحداثيات (X2،Y2).

الجدول (2): مسارات الحساسات المتحركة

الحساس	X1	Y1	X2	Y2
61	6	18	110	118
62	77	6	118	47
63	7	68	118	68
64	111	115	1	118
65	118	7	60	118
66	60	118	1	1

قمنا بتنفيذ المحاكاة ومن ثم حساب الموقع المخمن وفق الخوارزمية المقترحة لكل حساس من أجل عدة رزم عشوائية مستقبلية من الحيوان في لحظات معينة ، وتم حساب خطأ تحديد الموقع من أجل كل رزمة مستقبلية عند تلك اللحظة .  
الغاية: حساب المعدل الوسطي لخطأ تحديد الموقع لكل حساس أثناء حركته في المنطقة، وبالنهاية الحصول على المعدل الوسطي الكلي للخطأ ويمثل الشكل(6) سيناريو الشبكة المستخدم :



الشكل (6) : سيناريو الشبكة على برنامج NAM

## النتائج والمناقشة

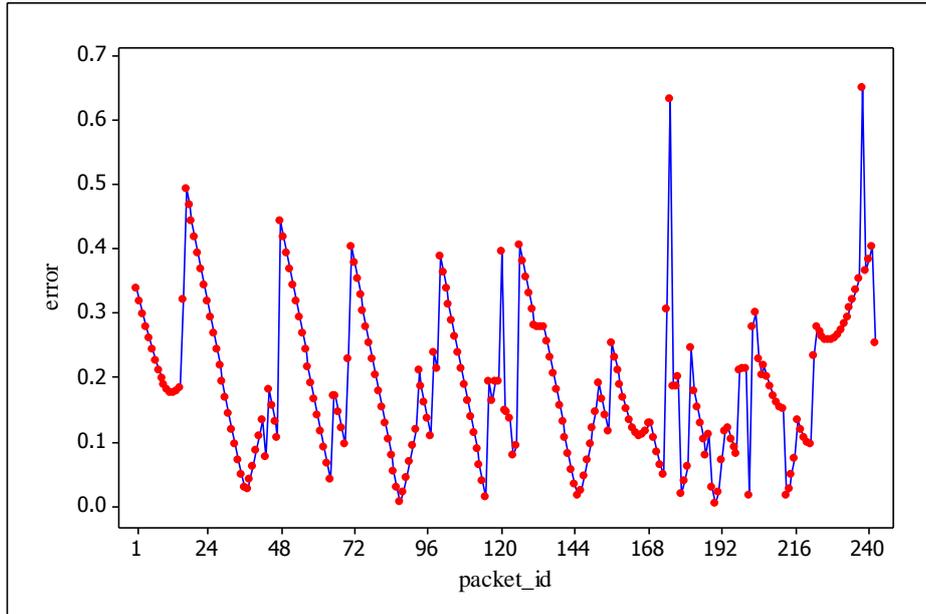
. نتائج حساب الموضع للحساس المتحرك (65) عند ورود حزمة إلى المنسق المركزي يوضح الشكل (7) طريقة حساب الموقع وفق الخوارزمية المقترحة:

```
MSensor 63 calc position
,estimated_X:=19.3500,estimated_Y:=70.5750 ,
Rial_X:=18.5157,Real_Y:=68.0000, count:4
[103.745568],i:0,Sensor 65 frouter59, X:=110.7000,Y:=9.5000
,count:1
[103.745568],i:1,Sensor 65 frouter31, X:=100.3000,Y:=20.0000
,count:2
[103.745568],i:2,Sensor 65 frouter15, X:=110.6000,Y:=29.8000
,count:3
MSensor 65 calc position
,estimated_X:=107.2000,estimated_Y:=19.7667 ,
Rial_X:=112.6646,Real_Y:=17.2108,count:3
```

الشكل (7) طريقة حساب الموقع

. معدل خطأ تحديد الموقع للحساس رقم 61

يبين الشكل (8) الخطأ في تحديد الموقع من أجل كل رزمة مستقبلة من الحساس المتحرك 61:



الشكل (8): خطأ تحديد الموقع للحساس 61

من خلال تنفيذ الخوارزمية المقترحة فقد قمنا بحساب الموقع للحساس المتحرك من أجل عدة رزم مستقبلة من هذا الحساس بالطريقة المبينة في الشكل (8) ، ثم تم حساب الخطأ في تحديد الموقع من أجل كل نقطة فصلنا على الشكل (8) ، ويكون المعدل الوسطي لخطأ حساب الموقع في هذا المخطط هو (0.192621) وهو نسبة من مجال الإرسال الذي يبلغ (20m) وبالتالي يكون لدينا:

$$\text{Localization error (m)} = 0.192621 * 20 = 3.85242 \sim 4 \text{ m}$$

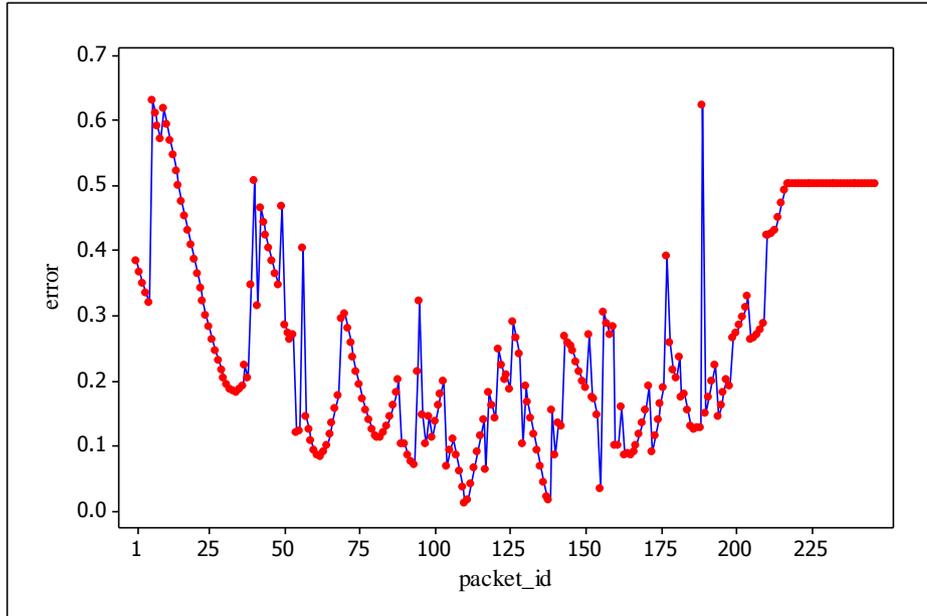
وهي دقة جيدة .

ملاحظة: يتم حساب خطأ تحديد الموقع كنسبة من مجال الإرسال بالعلاقة التالية:

$$E = \frac{(4) \int (y' - y)^2}{R}$$

. معدل خطأ تحديد الموقع للحساس رقم 63:

يبين الشكل (9) الخطأ في تحديد الموقع من أجل كل رزمة مستقبلية من الحساس المتحرك 63:



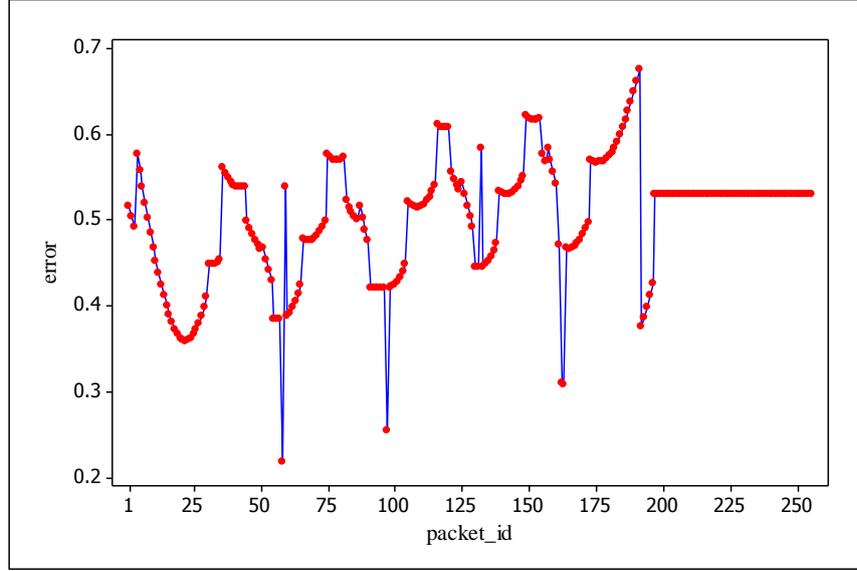
الشكل(9): خطأ تحديد الموقع للحساس 63

المعدل الوسطي للخطأ في هذا المخطط هو (0.28589) كنسبة من مجال الإرسال ، وبالتالي يكون لدينا :

$$\text{Localization error (m)} = 0.28589 * 20 = 5.7178 \sim 6 \text{ m}$$

. معدل خطأ تحديد الموقع للحساس رقم 64:

يبين الشكل (10) الخطأ في تحديد الموقع من أجل كل رزمة مستقبلية من الحساس المتحرك 64:



الشكل(10): خطأ تحديد الموقع للحساس 64

المعدل الوسطي للخطأ للحساس 64 هو (0.502741) كنسبة من مجال الإرسال ، وبالتالي يكون لدينا :

$$\text{Localization error (m)} = 0.502741 * 20 = 10.05482 \sim 11 \text{ m}$$

يبين الجدول (3) المعدل الوسطي للخطأ التي حصلنا عليه لكل الحساسات المتحركة:

الجدول (3) متوسط خطأ تحديد الموقع لكافة الحساسات

الحساس	متوسط الخطأ
61	0.192621
62	0.47107
63	0.28598
64	0.502741
65	0.260654
66	0.229193

المعدل الوسطي الكلي للخطأ:

$$\text{Localization error} = 0.192621 + 0.47107 + 0.28598 + 0.502741 + 0.260654 + 0.229193 / 6 = 0.323709$$

المعدل الوسطي الكلي كنسبة من مجال الإرسال:

$$\text{Localization error (m)} = 0.323709 * 20 = 6.4 \sim 7 \text{ m}$$

### الاستنتاجات والتوصيات:

إن الخوارزمية المقترحة تقدم لنا طريقة سهلة وبسيطة في حساب الموضع حيث إنها لا تحتاج إلا إدراج عناوين عقد المنارات المجاورة للحساس المتحرك في حال وجود أكثر من عقدة ، فيكفي أن يحصل المجمع المركزي على هذه

العناوين ليتم بطريقة بسيطة وسريعة حساب الموقع لهذا الحساس، بالإضافة إلى أنها حققت لنا دقة جيدة مع خطأ بحدود الـ (7m)، نلاحظ من خلال النتائج أن الدقة تزداد عندما يقترب الحساس المتحرك من النقطة المتوسطة بين عقد المنارات والقيم الشاذة تنتشأ عندما يفقد الحساس أحد عقد المنارة التي كانت تساهم في تحسين دقته (ومع ذلك فالدقة التي حصلنا عليها في أسوأ الحالات لمسارات الحساسات المتحركة كانت مقبولة)، أما القيم الثابتة للخطأ فتنشأ عندما يتوقف الحساس.

أمنت لنا هذه الطريقة أيضاً إمكانية تحديد الموقع ودون أي صرف إضافي للطاقة إذا ما تمت المقارنة مع الأبحاث الأخرى لأننا لم نستخدم أو نرسل أي حزم إضافية لتحديد الموقع (نعتمد فقط على حزم البيانات المرسلية افتراضياً) وبالتالي لا يوجد أي صرف إضافي بالطاقة في عملية تحدي الموقع، فالدراستين المرجعيتين الأولى والثانية (Zebranet, GDI) فيها الكثير من صرف الطاقة بسبب استخدامها لأجهزة (GPS) كذلك الدراسات المرجعية التي تعتمد على قوة الإشارة (RSSI) يتطلب فيها قياس قيم قوة الإشارة من عدد كبير من النقاط مرجعية في المنطقة لتشكيل خرائط (RSSI map) وبالتالي أيضاً صرف الكثير من الطاقة، كما اعتمدنا في بحثنا على ضبط الفترة الفعالة في دورة حياة الحساس (Duty cycle) بحيث كانت فترة الراحة للحساس تساوي فترة العمل (BO=6,SO=6) ويمكن من خلال زيادة قيمة BO التخفيض من هذه الفترة وبالتالي توفير في الطاقة.

كما أننا تمكنا في هذه الطريقة المقترحة من تحديد الموقع وبطريقة منخفضة التكلفة بشكل كبير مقارنة مع الأبحاث الأخرى التي استخدمت أجهزة (GPS) كما في (Zebranet, GDI)، بالإضافة إلى التخفيض من وزن العقدة الحساسة التي يمكن أن يضيفها جهاز الـ (GPS) والتي قد تعيق من حركة الحيوان وخاصة الحيوانات ذات الحجم الصغير.

ونقترح كعمل مستقبلي زيادة عدد عقد المنارات وتخطيط موضعها بشكل جيد بحيث تعطي دقة أكبر.

## المراجع:

- [1] CARCIA-HERNANDEZ,G.F;IBARGUENGOYTIA,P.H;CARCIA-HERNANDEZ,J; PEREZ-DIAZ,J.A. *Wireless Sensor Networks and Applications: a Survey*. International Journal Of Computer Science and Network Security Mexico, Vol.7,No.3,2007,264-273.
- [2] KUMAR,S; SHARMA,R; VANS,E. *Localization For Wireless Sensor Networks: A Neural Network Approach*. International Journal Of Computer Networks & Communications South Pacific, Vol.8,No.1,2016,61-69.
- [3] SASIKUMAR,G; RAMAMOORTHY,H; MOHAMED,S. *An Analysis On Animal Tracking Using Wireless Sensor*. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering India,Vol.4,No.9,2014,155-160.
- [4] . KRISHNA, Y. S; SUBRAHMANYAM, V; ZUBAIR, M. A; RAJALAKSHMI, P. (2015, May). *IEEE 802.15. 4-PHY Packet Detection and Transmission System With Differential Encoding For Low Power IoT Networks*. In *Region 10 Symposium (TENSYP)*, 2015 IEEE (pp. 1-4). IEEE..
- [5] CHENG,J; XIA,L. *En Effective Cuckoo Search Algorithm For Node Localization In Wireless Sensor Network*. Sensor,china, Vol.16, No.9, 2016,1390. .

- [6] . FARRAG,M; ABO-ZAHHAD,M; DOSS,M.M; FAYEZ,J.V. *Different Aspects Of Localization Problem For Wireless Sensor Network : A Review*. International Journal Of Computer Networks And Communication Security Egypt, Vol.4,No.5,2016,130-134.
- [7] OGUEJIOFOR,O.S; ANEIDU,A.N; EJIOFOR,H.C; OKOLIBE,A.U. *Trilateration Based Localization Algorithm For Wireless Sensor Network*. International Journal Of Science And Modern Engineering Nigeria, vol.1,no.10, 2013,2319-6386.
- [8] PAL,A. *Localization Algorithm In Wireless Sensor Network : Current Approaches And Future Challenges*. network protocols and algorithm USA,Vol.2,No.1,2010,45-73.
- [9] YOUSSEF,A; AGRAWALA,A; YOUNIS,M. *Accurate Free Node Localization In Wireless Sensor Network*. In Performance, Computing, and Communications Conference, 2005. IPCCC 2005. 24th IEEE International. IEEE,465-470. IEEE.
- [10] J. ZHOA,C; XU,Y; HUANG,H; GUL,B. *Localization With A Mobile Beacon Based On Compressive Sensing In Wireless Sensor Network*. international journal of distributed sensor network, china, 2013,1-3.
- [11] MATHUR, P; NIELSEN, R. H; PRASAD, N. R; PRASAD. R. *Wildlife conservation and rail track monitoring using wireless sensor networks*. In Wireless Communications, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems (VITAE), 2014 4th International Conference, IEEE, 2014, 1-4.
- [12] COCHRAN, W.W; LORD, R. D. *A radio-tracking system for wild animals*. Journal of Wildlife Management, vol. 27,20049–24.
- [13] MARKHAM,A. *On a Wildlife Tracking and Telemetry System:A Wireless Network Approach*, University of Cape Town, cape town,2004,285.
- [14] RODGERS,A.R. *Tracking Animals With Gps*. Centre for Northern Forest Ecosystem Research,Canada,2001,120.
- [15] CATARINUCCI,L. *Near Field UHF RFID Antenna System Enabling the Tracking of Small Laboratory Animals*, Hindawi Publishing Corporation International Journal of Antennas and Propagation,V.2013, june 2013, 1-11.
- [16] ROLAND,K; SAMEER,T. *Tracking Animal Location and Activity with an Automated Radio Telemetry System in a Tropical Rainforest*, The Computer Journal Advance Access, August 2012, 1-18.
- [17] MARTONOSI,M. *The Princeton Zebranet Project: Sensor Networks For Wildlife Tracking*. Princeton University, New jersy,2004,2-7.
- [18] MADDEEN,S. *The Design And Evaluation Of A Query Processing Architecture For Sensor Network*. University Of California, berkely,2003,11-15.
- [19] ALHMIEDAT,T; SAMARA,GH; *An Indoor Fingerprinting Localization Approach for ZigBee Wireless Sensor Networks*, European Journal of Scientific Research,Vol.105,No.2,2013,1-13.
- [20] ALHMIEDAT, T.A; YANG,S. *A ZigBee-based mobile tracking system through wireless sensor networks*, International Journal of Advanced Mechatronic Systems, Vol.1,No.1,2008,1-10