

دراسة أداء خوارزمية APS في تحديد الموقع في شبكات الحساسات اللاسلكية تحت الماء

الدكتورة بشرى معلّو*

(تاريخ الإيداع 14 / 12 / 2015. قُبل للنشر في 19 / 6 / 2016)

□ ملخص □

غالباً ما يتم نشر شبكات الحساسات اللاسلكية بشكل عشوائي مما يجعل إمكانية تحديد مواقع العقد المنشورة أمراً غاية في التعقيد، وهو ما يسمى مشكلة تحديد مواقع العقد. إن أهمية معلومات مواقع العقد تأتي من السهولة التي تقدمها هذه المعلومات في عمليات التوجيه والتحكم بالشبكة، الأمر الذي ينعكس بشكل من الأشكال على عمل الشبكة بشكل صحيح. في الوقت الحاضر، ظهر نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) الذي يعد أهم نظام تحديد المواقع، لكن تكلفته إضافته إلى كل عقدة باهظة، لاسيما في التطبيقات التي تعتمد على شبكات كبيرة الحجم، كما سيتسبب بزيادة حجم العقدة، لذا يمكن تجهيز عدد قليل من العقد بـ GPS، والتي ستساهم بدورها في مساعدة العقد الأخرى على معرفة مواقعها. سندرس في هذه البحث خوارزمية نظام تحديد الموقع (APS) المستخدمة في شبكة الحساسات اللاسلكية تحت الماء، وفيها تكون هناك بعض العقد مجهزة بـ GPS، والتي تساهم في تحديد مواقع العقد الأخرى المتبقية في الشبكة. وسيتم اختبار فعالية استخدام هذه الخوارزمية في تحديد موقع العقدة اعتماداً على المسافة المحسوبة من قبل عقد المرساة القادرة على تحديد موقعها.

الكلمات المفتاحية: شبكات الحساسات اللاسلكية تحت الماء، مشكلة تحديد الموقع، خوارزمية APS، عقد المرساة، تخمين المسافة

* مدرسة، قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية سورية.

Performance Study of APS Algorithm for position Determination in Underwater Wireless Sensor Networks

Dr. Boushra Maala *

(Received 14 / 12 / 2015. Accepted 19 / 6 / 2016)

□ ABSTRACT □

Wireless Sensor Networks (WSNs) are often deployed randomly; this makes the position determination of deployed nodes a very difficult issue, which is called localization problem. The importance of node localization information becomes from the facility of routing operation and the network control, that makes the network works correctly.

Nowadays, Global Position System (GPS) is appeared as the most important position system, but it is inapplicable for the low-cost self-configure sensor networks, and also it is impossible to install GPS for each sensor node because of high cost, large volume and high complexity required of adding it to nodes, especially for large network. Therefore, a few number of nodes may be configured with GPS.

In this paper, we will study the localization algorithm Ad-hoc Positioning System (APS) algorithm used in Underwater WSN, and will test the effectiveness of using it in determining the node position based on the distance calculated by anchor nodes. These nodes are the nodes which know their positions.

Keywords: Underwater Wireless Sensor Networks, Localization Problem, APS Algorithm, Anchor Nodes, Distance Estimation.

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

مقدمة :

أكثر من 70% من سطح الكرة الأرضية مغطى بالماء، لذلك أجريت العديد من الأبحاث حول الأنظمة المستخدمة لاستكشاف عالم ما تحت الماء وخفاياه، وأصبحت طرق مراقبة هذه البيئة وجمع البيانات عنها عنصراً أساسياً في الأبحاث، مما جعل من الضروري إيجاد طريقة فعالة للقيام بذلك. وهكذا ظهرت شبكات الحساسات اللاسلكية تحت الماء (UWSNs) Under water Wireless Sensor Networks مشكلة خياراً مناسباً لذلك. لكن خصائص البيئة المائية فرضت على الباحثين العديد من التحديات وخاصة في إجراء اتصالات فعالة وإيجاد تقنيات تموضع مناسبة للحساسات.

تقدم شبكات الحساسات اللاسلكية تحت الماء تطبيقات عديدة مثل مراقبة التلوث وتجنب الكوارث والمساعدة في الملاحة البحرية وغيرها من التطبيقات الهامة في حياة الإنسان، كما حلت هذه الشبكات بديلاً عن الإنسان في استكشاف أعماق البحار والمحيطات والتي تعد غير آمنة إضافة إلى صعوبة التنقل فيها والبقاء لفترة طويلة.

أهمية البحث وأهدافه:

يمثل التموضع في شبكات الحساسات اللاسلكية تحت الماء من أهم الأبحاث الحديثة التي تم تناولها ولا يزال العمل عليها مستمراً، ويعود ذلك للفائدة المجنية من معرفة مواقع العقد في تسهيل عمل الشبكة بشكل عام. يهدف هذا البحث إلى دراسة آليات تحديد الموقع في شبكات الحساسات اللاسلكية تحت الماء واختبار فعالية خوارزمية APS والتي تعتمد على معلومات مقدمة من عدد قليل من عقد معلومة الموقع تسمى عقد المرساة باستخدام المحاكاة الحاسوبية، وتمت المقارنة والتقييم على أساس:

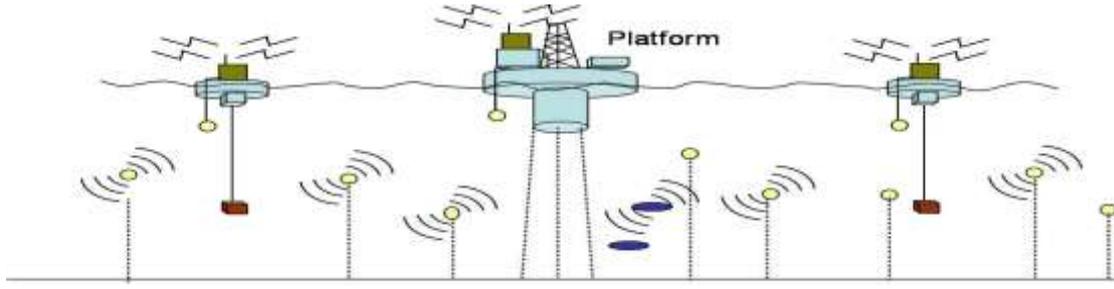
- حساب موقع عقد المرساة اعتماداً على عقد الشبكة المجهزة بـ GPS.
 - اعتماد عقد الشبكة العادية على حساب بعدها عن ثلاث عقد مرسة لتحديد موقعها.
 - مقارنة المسافة المحسوبة مع المسافة الحقيقية لتحديد الخطأ.
- تعتمد معظم التطبيقات على نشر الحساسات بشكل عشوائي في المنطقة المدروسة والتي هنا هي عبارة عن دراسة حالة متمثلة بسد الحويز، لذا فمن المهم معرفة مواقع هذه الحساسات.

طرائق البحث ومواده

توجد العديد من المحاكيات العاملة مع شبكات الحساسات اللاسلكية، مثل NS2 و OMNET++ ، و لكن كون اختبار هذه الخوارزمية يعتمد على مستوى من العمليات الحسابية، لذا قمنا باستخدام برنامج MATLAB الذي يعتمد على لغة برمجية عالية المستوى ويتمتع بمميزات وإمكانيات عالية جعلته الأنسب في بحثنا. كما اعتمدنا على أبعاد حقيقية لمنطقة دراسة تمثل مساحة سد الحويز والذي نفترض نشر الشبكة فيه.

1. التعريف بشبكات الحساسات اللاسلكية تحت الماء (UWSNs):

تتألف هذه الشبكة من عدة عقد حساسات منتشرة تحت الماء لاستكشاف بيئة المحيط وجمع البيانات [1]. وعلى عكس شبكات الحساسات الأرضية، تكون عقد الحساسات تحت الماء أعلى ثمناً وأقل عدداً، كما يجب أن تكون هذه العقد قادرة على الإعداد الذاتي والتكيف مع شروط المحيط القاسية. يتم تأسيس الاتصال اللاسلكي النموذجي تحت الماء باستخدام الأمواج الصوتية. يبين الشكل (1) مخططاً عاماً لشبكة UWSN.



الشكل (1): مخطط عام لشبكة UWSN

2. التحديات الرئيسية في تصميم شبكات الحساسات تحت الماء:

يعاني تصميم شبكة حساسات لاسلكية تحت الماء من عدة تحديات [1] منها:

- 1- محدودية عرض النطاق الترددي المتاح.
- 2- القنوتات تحت الماء ضعيفة جداً خاصة بسبب تعدد المسارات ومشاكل الخفوت.
- 3- محدودية طاقة البطارية، وعادة لا يمكن إعادة شحن البطاريات كما لا يمكن استغلال الطاقة الشمسية.
- 4- معدلات عالية لخطأ البت وخسائر مؤقتة في الاتصال (مناطق الظل).
- 5- الحساسات تحت الماء عرضة للتآكل والفشل.
- 6- تأثير التبعثر والامتصاص.
- 7- تأثير التقسيم الطبقي: يعد الماء وسطاً غير متجانس وتعتمد سرعة الصوت على عدة معايير مثل درجة الحرارة، الضغط والملوحة، لذلك فإن الأمواج الصوتية قد لا تنتشر بخطوط مستقيمة ،ويؤدي تجاهل تأثير الطبقات إلى انزياح كبير في تقدير المجالات [2] .
- 8- تأخير الانتشار الطويل: إن انخفاض سرعة انتشار الأمواج الصوتية يؤثر على زمن تبادل الرسائل بين العقد مما يعكس بشدة على دقة خوارزميات التزامن التي تقترض الفورية في استقبال رسائل التزامن [3,4]. لذلك من أجل تحقيق تزامن أكثر دقة يجب تقدير وتعويض زمن الانتشار الطويل.
- 9-حركية عقد الحساسات: تملك عقد الحساسات في بيئة تحت الماء حركية سلبية بسبب التيارات المائية. وهذا يؤدي إلى مشاكل في التموضع، ويسبب صعوبة في تخمين المسافة الحقيقية بين عقدي حساس. كما تعقد الحركية أيضاً التزامن وذلك من خلال التسبب بتغييرات مستمرة في تأخير الانتشار. بسبب حركية العقد، يكون تأخير الانتشار من وإلى العقدة ليس بالضرورة نفسه، خاصة عندما تتحرك العقد بسرعة عالية، لذلك لتحسين دقة التزامن يجب الأخذ بالحسبان حركية عقد الحساسات [2].

3. أنواع العقد في شبكات الحساسات اللاسلكية تحت الماء (Types of nodes in UWS):

تتكون شبكات الحساسات اللاسلكية تحت الماء بشكل رئيسي من أربعة أنواع من العقد [5,6,7]:

- 1-العقد العائمة على السطح.
- 2- عقد مرسله/مستقبلة صاعدة منفصلة (DETs) Detachable Elevator Transceivers .
- 3-عقد المرساة.
- 4-عقد عادية.

تتوضع العقد الطافية على سطح الماء حيث صممت لتكون مرتبطة مع (GPS Global position system)، وتتواصل مع العقد الطافية حيث يمكن لها أن تتحرك للأعلى وللأسفل لتبث معلومات موقعها. أما عقد المرساة فيمكنها أن تحسب موقعها اعتماداً على معلومات الموقع المرسل من DETs وقياس المسافة إلى DETs. الخطوة الأولى في التموضع هي تحديد موقع عقد المرساة، حيث يفترض أنه يمكن لكل هذه العقد تخمين مواقعها بالاتصال المباشر مع العقد العائمة.

1 **العقد العائمة:** هي عقد تتوضع على سطح الماء، وتكون مجهزة لتتصل مع GPS للحصول على الموقع بالضبط.

تبقى العقد العائمة ثابتة، ويمكن أن تلعب بعض الأدوار الهامة مثل الملاحة والتوجيه. كما يمكن استخدامها لتوفير معلومات الموقع لعقد DETs المرتبطة بها، عندما تتحرك إلى أعلى السطح. يظهر الشكل (2) نوعين مختلفين من العقد العائمة.



الشكل (2): نوعان من العقد العائمة

2 **عقد مرسلة/مستقبلة صاعدة منفصلة (DET):** تتكون هذه العقد بشكل أساسي من مصعد وأجهزة إرسال واستقبال صوتية. يساعد المصعد العقدة في الارتفاع أو الغطس بشكل عمودي في الماء، أما جهاز الإرسال والاستقبال فيتصل مع عقد المرساة على أعماق مختلفة. تزود هذه العقد مع العقد السطحية موقع عقد المرساة الثابتة، تحصل DET على إحداثيات x, y من العقدة العائمة التابعة لها عندما ترتفع إلى سطح الماء وتتصل معها، ثم تنتقل إلى الأسفل لتبث معلومات الموقع إلى بعض الأعماق المهيأة مسبقاً.

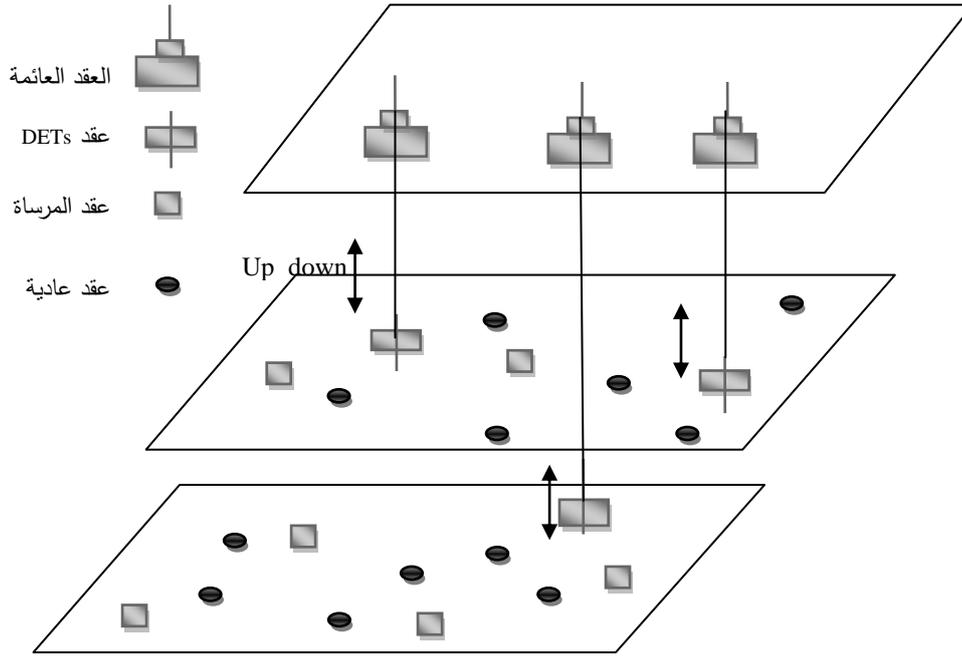
كمثال: إذا كانت شبكة الحساسات تراقب مهمة ما على عمق 3km to 4km، DETs يمكنها أن تبدأ البث على عمق 3km وتستمر بالبث كل 200 m حتى تغوص إلى 4km.

3 **عقد المرساة:** دورها الأساسي هو المساعدة في تحديد موقع عقد الحساسات العادية، وهي تملك طاقة أكبر وتستخدم مرسلات ومستقبلات صوتية لتتصل مع عقد DETs. تستقبل عقد المرساة رسائل بث عام من عقد DETs وتملك مجال اتصالات واسع بالمقارنة مع عقد الحساسات العادية.

في كل مرة تستقبل عقد المرساة رسائل للموقع مع أكثر من ثلاث عقد DETs يمكنها أن تحسب إحداثياتها وتخمن موقعها. وتستخدم ما يسمى عتبة ثقة الموضع لتفحص إذا كان الموقع المخمن مستوفياً لشروط العقد. فإذا حقق شروط العقد فإن عقدة المرساة ستبث موقعها للمساعدة في تحديد موقع عقد الحساسات العادية في وقت لاحق.

4- **عقد الحساسات العادية:** مهمتها الأساسية هي تحسس الوسط المحيط، وقد صممت بحيث تستهلك طاقة منخفضة، إذ تمر في حالة إسبات من أجل الحفاظ على الطاقة، يكون موقع هذه العقد غير معروف وتعتمد على رسائل

بث دورية من عقد المرساة، إذا استقبلت أكثر من ثلاث رسائل بث من عقد مرساة مختلفة، تقوم بحساب موقعها الخاص. يبين الشكل (3) أنواع عقد الحساسات اللاسلكية تحت الماء.



الشكل(3): أنواع عقد الحساسات اللاسلكية تحت الماء

4. مفهوم التموضع (Localization Concept):

توسعت تطبيقات شبكات الحساسات اللاسلكية تحت الماء لتشمل تطبيقات حيوية، تعرف المعطيات في هذه الشبكات ظواهر متنوعة كالضغط، درجة الحرارة، التلوث... الخ. يتم جمع هذه المعطيات من منطقة جغرافية معينة قد تكون مساحتها كبيرة في أغلب الأحيان، لذلك من الضروري معرفة الموقع الذي حدثت فيه الظاهرة. من البديهي أن المعلومات تكون ذات قيمة أكبر عندما تكون مواقع مصادر المعلومات معروفة. بعبارة أخرى، حدوث الظاهرة دون معرفة موقعها أقل أهمية، أو ليس لها معنى أحياناً.

تدعى الإجرائية المستخدمة لتحديد موقع الحساس الذي يصدر إشارة ما بإجرائية التموضع (التمركز) في شبكات الحساسات اللاسلكية. يعد التموضع تقنية متكاملة في شبكات الحساسات اللاسلكية الأرضية، لكنه لازال تقنية قيد التطوير وتحت تأثير عدة تحديات في شبكات الحساسات اللاسلكية تحت الماء. وبشكل عام، يجب أن ترتبط التقنيات المصممة لتقدير مواقع عقد الحساسات بأمر أساسي، كتحفيض استهلاك الطاقة، وزمن المعالجة، وكلفة التجهيزات، وعمليات الإرسال وأمر أخرى [8].

1.4 النموذج الرياضي لمشكلة التموضع:

ليكن لدينا n عقدة حساس مجهولة الموقع ضمن مجال يشار إليه بـ R_d ، و m عقدة ثابتة معروفة الموقع تدعى بعقد المرساة (anchor nodes) والتي يرمز لمواقعها بـ a_1, a_2, \dots, a_m . بفرض أن المسافة d_{ij} بين عقدتي الحساس i^{th} و j^{th} يشار إليها بـ N_x ، و أن المسافة بين عقدة الحساس i^{th} وعقدة مرساة k^{th} هي d_{ik} ويشار إليها بـ N_a يكون [2]:

$$Na = \{(i, k) : |X_i - ak| = d_{ik} \leq Rd\} \quad Nx = \{(i, j) : |X_i - X_j| = d_{ij} \leq Rd\} \quad (1)$$

حيث: Rd بارامتر ثابت ندعوه بالمدى الراديوي.

مشكلة التموضع في شبكات الحساسات اللاسلكية هي إيجاد الشعاع $X_i \in Rd$ لكل قيم i حيث:

$$|X_i - ak|^2 = d_{ik}^2 \forall (i, k) \in Na \quad |X_i - X_j|^2 = d_{ij}^2 \forall (i, j) \in Nx : \text{حيث } i=1,2,\dots,n$$

2.4 تصميم تقنيات التموضع:

تتلخص السمات المشتركة بين تقنيات تحديد الموقع [2] بما يلي:

- التكيف مع محدودية المصادر أي تخفيض استهلاك الطاقة، وكلفة التجهيزات، وعمليات الإرسال والمعالجة.
- التأثير بعدد وكثافة العقد.
- التكيف مع هيكلية الشبكة.
- القدرة على التعامل مع الحواجز والعوائق.
- حركية العقد.
- نوع الإشارات.

أما أهم النقاط التي يتم تعريفها عند تصميم تقنيات التموضع:

- عمق المياه التي تنتشر فيها الحساسات.
- موقع العقد المركزية (Sink) في الشبكة.
- عدد عقد المنارة (beacons) ومن ثم عدد عقد الحساسات العادية.
- حالة العقد (ثابتة، متحركة).
- الظروف البيئية (الملوحة، درجة الحرارة، التيارات المائية...).

5. تصنيف تقنيات التموضع:

تصنف تقنيات التموضع إلى صنفين أساسيين هما:

- تقنيات التموضع غير المعتمدة على المدى (Range free).
- تقنيات التموضع المعتمدة على المدى (Range Based).

1.5 التقنيات غير المعتمدة على المدى (Range free):

تعتمد هذه التقنيات على استثمار معلومات الوصلات الراديوية بين العقد الجارة، أو استثمار قدرات الحساسية

التي تمتلكها كل عقدة لتقدير المسافة بين العقد بدلاً من القياسات الراديوية. أهم أنواعها [5]:

- التقنيات المعتمدة على المنطقة (area-based).
- التقنيات المعتمدة على عدد القفزات (hop-count).

وتتميز هذه التقنيات بأنها اقتصادية كونها لا تتطلب تجهيزات إضافية وتحتاج إلى استهلاك منخفض للطاقة،

إضافة إلى أن تأثير العوامل الفيزيائية على هذه التقنيات محدود جداً. ولكن النتائج التي يتم الحصول عليها باستخدامها غير دقيقة، لذلك فإن استخدامها في شبكات الحساسات اللاسلكية تحت الماء غير فعال.

2.5 التقنيات المعتمدة على المدى (Range Based):

قدمت هذه التقنية حلاً لمشكلة عدم الدقة في التقنيات غير المعتمدة على المدى [8,9]، واستطاعت أن تزيد

فعالية التموضع. تعتمد هذه التقنية على القياسات الراديوية لتقدير موقع عقد الحساسات. أهم أنواعها [10,11]:

- خوارزمية زمن الوصول (ToA (Time of Arrival).
 - خوارزمية فرق زمن الوصول (TDoA(Time- Difference of Arrival).
 - خوارزمية زاوية الوصول (AoA(Angle of Arrival).
 - خوارزمية دليل قوة الإشارة المستقبلية (RSSI(Received Signal Strength Indicator).
- تتمتع هذه التقنيات بالدقة العالية، ولكنها تحتاج إلى مصفوفة هوائيات خاصة، وتجهيزات إضافية مما يجعلها مكلفة وهي حساسة لتغير سرعة الإشارة الصوتية تحت تأثير الظروف البيئية (الحرارة، الملوحة، الضغط، التضاريس...) وتتطلب بعضاً نوعاً التزامن الدقيق بين العقد.

6. تصنيف خوارزميات التموضع:

- إن حركة عقد الحساسات الناجمة عن التيارات المائية أمر محتوم، لذلك تم تصنيف خوارزميات التموضع اعتماداً على الحركية إلى ثلاثة أصناف [7]:
- 1 - خوارزميات التموضع الثابتة: تفترض معظم خوارزميات التموضع أن عقد الحساسات في شبكة الحساسات اللاسلكية تحت الماء ثابتة، وتتصل هذه العقد مع العقد الطافية.
 - 2- خوارزميات التموضع المتحركة: في التطبيقات الواقعية لشبكات الحساسات اللاسلكية تحت الماء، مثل مراقبة البيئة، تتحرك معظم العقد بحرية مع التيارات المائية.
 - 3- خوارزميات التموضع الهجينة: استخدمت خوارزميات التموضع الهجينة في شبكات الحساسات اللاسلكية تحت الماء، حيث تضم حساسات ثابتة ومتحركة.

كما قام الباحثون بتقسيم كل من الخوارزميات السابقة إلى صنفين [12,13,14] هما:

1. خوارزميات التموضع المركزية: ترسل عقد الحساسات في هذه الخوارزميات المعطيات إلى موقع مركزي، حيث تتم عملية المعالجة وحساب موقع كل عقدة ثم إعادة إرساله إليها. سيئاتها هي التأخير والتكلفة العالية للاتصال، حيث تزداد هذه التكاليف مع ازدياد عدد العقد في الشبكة وهذا ما يجعل هذه الخوارزميات غير فعالة في الشبكات الكبيرة.
2. خوارزميات التموضع الموزعة: يتوزع حمل المعالجة على كامل الشبكة بدلاً من عقدة مركزية واحدة لإنقاص التأخير وكمية الاتصالات المتبادلة بين عقد الحساسات. في هذه الخوارزميات، تحدد كل عقدة موقعها الخاص بمساعدة العقد الجارة لها دون الحاجة لإرسال المعلومات من وإلى موقع مركزي. لكن من سيئاتها أنها يمكن أن تكون معقدة التطبيق بسبب القدرات المحدودة للحساب والمعالجة التي تملكها عقد الحساسات.

7. خوارزمية نظام تحديد التموضع في Ad-Hoc (Ad-hoc Positioning System (APS)

(Algorithm

إن خوارزمية APS هي إحدى خوارزميات التموضع الموزعة غير المعتمدة على المدى [15]، والتي تعتمد على الاتصالية (Connectivity Based)، وتقوم بتقدير مواقع عقد الحساسات باستخدام ثلاث عقد مرصاة على الأقل. حيث يمكن تخفيض أخطاء التموضع بزيادة عدد عقد المرصاة.

1.7 الفكرة الأساسية:

في هذه الخوارزمية، تقوم كل عقدة مرصاة ببث موقعها لكل العقد في الشبكة باستخدام مفهوم شعاع المسافة، أما العقد العادية فتتبادل بشكل دوري جداول توجيهها مع العقد التي تبعد عنها قفزة واحدة. تقوم كل عقدة ببناء جدول

$\{X_i, Y_i, h_i\}$ حيث $\{X_i, Y_i, h_i\}$ هي إحداثيات موقع العقدة i على المحورين X, Y أما h_i فهي المسافة بالقفزات بين العقدة i وباقي عقد الشبكة.

عندما تحصل عقدة المرسة على المسافات بينها وبين باقي عقد المرسة تقوم بتحديد المسافة الوسطية المعبرة عن قفزة واحدة والتي تدعى عامل التصحيح، ويتم نشر عامل التصحيح الذي تحسبه كل عقدة مرسة في الشبكة. يعطى عامل التصحيح لعقدة المرسة i يعطى بالعلاقة:

$$C_i = \frac{\sum \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2}}{\sum h_i} \quad (2)$$

من أجل كل قيم j حيث $(j \neq i)$.

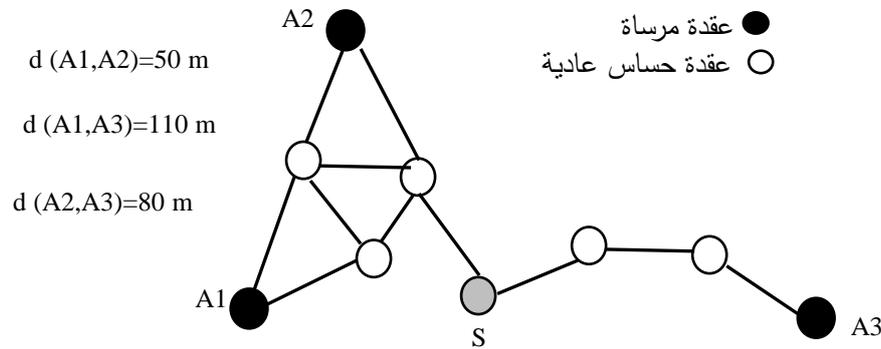
حيث: X_i, Y_i : إحداثيات العقدة i على المحورين x, y .

X_j, Y_j : إحداثيات العقدة j على المحورين x, y .

h_i : عدد قفزات المسار الأقصر بين العقدة i والعقدة j .

عندما تحصل عقدة الحساس العادية على موقع عقد المرسة وعامل التصحيح تصبح قادرة على حساب موقعها الخاص باستخدام طريقة تعتمد على الحسابات التثلثية. نظرياً، تتطلب كل عقدة حساس عادية معلومات الموقع والمسافة لثلاث عقد مرسة على الأقل، لكن إذا وجد في الشبكة أكثر من ثلاث عقد مرسة، يمكن للعقدة العادية أن تستخدم كل معلومات عقد المرسة في حساب موقعها، أو تختار ثلاث عقد فقط.

يوضح الشكل (4) مثلاً عن شبكة حساسات لاسلكية مؤلفة من 9 عقد حساسات ثلاثة منها هي عقد مرسة.



الشكل (4): شبكة حساسات لاسلكية تعتمد خوارزمية APS

نلاحظ أن عدد القفزات من $A1$ إلى $A2$ هو 2 وعدد القفزات من $A1$ إلى $A3$ هو 6.

لحساب عامل التصحيح للعقدة $A1$ والذي يعرض المسافة الوسطية للقفزة الواحدة مقدرتها بالأمتار:

$$C_1 = \frac{50 + 110}{2 + 6} = 20 \text{ m}$$

بشكل مشابه تقوم العقدة $A2$ بحساب عامل تصحيحها (18.6 m) والعقدة $A3$ تحسب عامل تصحيحها (17.3 m).

تنشر عوامل التصحيح بواسطة تدفق متحكم به، على سبيل المثال: عندما تتلقى عقدة حساس عامل التصحيح تقوم بإهمال جميع التصحيحات التالية للتأكد أن كل عقدة حساس ستستخدم عامل تصحيح واحد وبشكل نموذجي من

عقدة المرسة الأقرب. في الشكل السابق، تستخدم عقدة الحساس S عامل التصحيح الذي تحصل عليه من العقدة A2 وقيمهته 18.6 متر.

لتقدير المسافة منها إلى عقد المرسة الثلاثة عن طريق استخدام عدد القفزات مضروباً بعامل التصحيح، وهذا يقود إلى المسافات الآتية عن S كما يظهر الجدول الآتي (1):

الجدول(1): المسافات المحسوبة للعقد عن S

العقدة	المسافة
A1	55.8 m
A2	37.2 m
A3	55.8 m

بعد الحصول على هذه المسافات وبلاستعانة بعلم المتثلثات يمكن حساب موقع العقدة S.

2.7 اختبار فعالية خوارزمية APS:

الهدف الأساسي من هذه الدراسة هي محاكاة شبكة حساسات لاسلكية تحت الماء منشورة عشوائياً على سطح بحيرة بأبعاد حقيقية (بحيرة سد الحويز)، بهدف اختبار دقة نتائج هذه الخوارزمية وكشف نقاط ضعفها الأساسية لتخمين مواقع العقد العادية بمساعدة عقد المرسة المزودة بنظام GPS وذلك اعتماداً على برنامج المحاكاة MATLAB (R2011a) 7.12.0.

الغاية من هذه الشبكة هو مراقبة المياه العذبة لبحيرة السد من حيث مستوى ملوحة الماء، ومستوى التلوث، وعمق الماء، ودرجة حرارته واتجاه جريانه. يمكن للحساسات المستخدمة أن ترسل معلومات القياس والمراقبة بشكل آني إلى مركز الإدارة والمعالجة والذي يمكن أن يوضع في مبنى إدارة السد عن طريق شبكة GSM الخلوية.

8. المحاكاة وإظهار النتائج

1.8 طبيعة المنطقة المدروسة:

يعد سد الحويز أحد أهم السدود الموجودة في محافظة اللاذقية [16]، بني في عام 1987 و تم تحديثه و صيانتته عام 2010 ، يبلغ حجم التخزين المائي في سد الحويز حوالي 16.5 مليون متر مكعب. في العام الحالي (2015) بلغ حجم التخزين حوالي 12.5 مليون متر مكعب، وهي تكفي لإرواء موسمين زراعيين حيث تبلغ مساحة الأراضي التي تروى منه 400 هكتار. ويتم تأمين المياه للسد عن طريق ضخ المياه الزائدة من نبع السن ومن نهر الزرود ونهر زاما. يظهر الشكل (5) صورة حقيقة لجزء من بحيرة السد.



الشكل(5): صورة لجزء من بحيرة سد الحويز

وأهم مواصفات السد:

طول البحيرة: حوالي 1.6 كيلومتر.

العرض الأعظمي للبحيرة : حوالي 1 كيلومتر.

مساحة سطح البحيرة: 1.6km^2

ويبين الشكل(6) شكلاً لبحيرة سد الحويز من [17] Google Earth.



الشكل(6): بحيرة سد الحويز من Google Earth

تكمُن أهمية مراقبة المياه في أن المسؤولين عن إدارة الموارد المائية يحتاجون إلى تعقب حركة مياه الأنهار، ومراقبة مستويات الملوحة ومراقبة التلوث وخاصة في الشبكات المائية المعقدة المؤلفة من العديد من القنوات

والروافد المائية كالدلتا ومصبات الأنهار. وفي الحالات الطارئة كانهيار السد (كحادثة سد زيزيون)، الطوفان، وازدياد مستويات التلوث وغيرها، من الضروري جمع المعلومات عن حالة المياه بشكل مسبق لتجنب هذه الكوارث وخاصة عندما تكون هذه الموارد المائية موظفة لإنتاج مياه الشرب أو قريبة من المدن والتجمعات البشرية. تشكل الحساسات التي توضع بشكل ثابت لمراقبة المياه أدوات هامة لجمع المعلومات، لكنها غير مناسبة للشبكات المائية المعقدة والكبيرة، كما أنها لا تتعقب اتجاه جريان الماء.

بما أن البيئة المدروسة متوسطة المساحة، وذات أهمية حيوية كونها مصدر لمياه الري وقريبة من التجمعات السكانية، فمن الضروري نشر الحساسات لتغطي مساحة البحيرة، وتقوم بالمراقبة والقياس لمستوى ملوحة الماء، ودرجة حرارة الماء وتحليل هذه المعطيات لمعرفة مستوى التلوث واتجاه جريان الماء.

2.8 آلية عمل الشبكة:

تتشر الحساسات الطافية على امتداد سطح البحيرة بأعداد مدروسة وفقاً لمجال تغطية كل حساس لكنها تحمل مع التيارات المائية لتتناثر في أماكن متفرقة. عندما تنتقل الحساسات مع مجرى الماء، تتعقب مستقبلات الـ GPS في عقد المرساة مواقع هذه العقد، وتقوم كل عقدة مرسة بحساب عامل التصحيح بالنسبة لعقد المرساة الأخرى التي تقع ضمن مجال تغطيتها، وإرساله لجميع العقد في الشبكة، بينما تقوم الحساسات بمراقبة مستوى الملوحة ودرجة حرارة الماء. يمكن استخدام هذه المعطيات لتحديد مستوى التلوث واتجاه جريان الماء، إضافة إلى مراقبة البحيرة، ويمكن توظيف هذه الشبكة لمراقبة تسرب الماء من جسم السد الإسمنتي، وكشف الصدوع فيه وبالنتيجة تجنب كوارث الطوفان.

3.8 خوارزمية العمل:

- 1 - تحصل كل عقدة مرسة على موقعها من الـ $\{X_i, Y_i\}$ GPS.
- 2 - تتشر عقد المرساة موقعها إلى كل العقد في الشبكة باستخدام خوارزمية شعاع المسافة، حيث تتبادل العقد في الشبكة جدول توجيهها مع العقد التي تبعد عنها بقرة واحدة.
- 3 - تبني كل عقدة جدول التوجيه الخاص بها $\{X_i, Y_i, h_i\}$ ، حيث يمثل $\{X_i, Y_i\}$ موقع العقدة i و h_i هي المسافة بالقفزات بين هذه العقدة والعقدة i .
- 4 - تحسب كل عقدة مرسة المسافة بينها وبين باقي عقد المرساة لتحديد عامل التصحيح
- 5 - عندما تستقبل العقدة العادية عامل تصحيح تقوم بتجاهل أي عامل تصحيح يرد بعده، للتأكد من أن كل عقدة تستخدم عامل تصحيح وحيد، ثم تقوم كل عقدة بحساب المسافة بينها وبين باقي عقد المرساة بضرب عامل التصحيح بعدد القفزات التي تفصلها عن عقدة المرساة.

4.8 خطوات العمل:

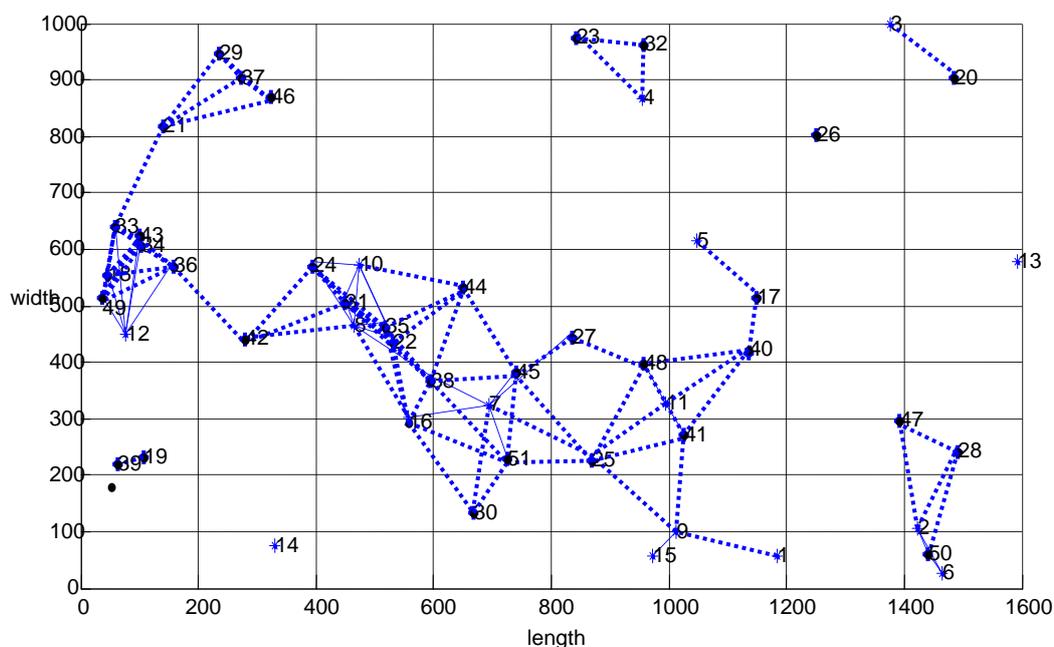
كما ذكرنا سابقاً، تهدف الشبكة إلى دراسة مياه بحيرة سد الحويز من حيث الملوحة ودرجة الحرارة، ثم استئثار هذه المعلومات لمراقبة التلوث مستقبلاً. وبما أن نصف قطر مجال الاتصال للحساسات المستخدمة هو 100 m، ومساحة البحيرة 1.6 كيلومتر مربع، فإن عدد الحساسات المطلوب لتغطية كامل سطح البحيرة هو:

$$\text{number of nodes} = \frac{1600000}{\pi \cdot 100^2} = 51 \text{ sensors}$$

الخطوة الأولى: هي تحديد عدد العقد المرسة التي سيتم تزويدها بنظام تحديد المواقع العالمي GPS.

تفترض خوارزمية APS أن عقد المرساة تمثل ما لا يقل عن 20% من العدد الكلي للعقد في الشبكة، لذلك يكون عدد عقد المرساة اللازمة هي 10 عقدة مرسة.

الخطوة الثانية: هي محاكاة النشر العشوائي لعقد الحساسات على امتداد مساحة البحيرة باستخدام الماتلاب، وذلك ببناء شبكة ذات أبعاد مماثلة لأبعاد البحيرة. حيث تعد العقدتان متصلتان إذا كانت المسافة بينهما أصغر أو تساوي $2R$ حيث R هو نصف مدى الاتصال، وتم اختيار إحداثيات كل عقدة بشكل عشوائي لتحاكي التطبيق العملي وذلك بافتراض أن شروط الدراسة مثالية، وبإهمال سرعة الرياح لحظة المحاكاة. يظهر الشكل (7) نموذج التوزيع العشوائي للعقد على مساحة بحيرة السد.



الشكل (7): التوزيع العشوائي للعقد على سطح البحيرة

الخطوة الثالثة: نمذجة علاقة عامل التصحيح من أجل كل عقد مرصاة المعطى بالعلاقة (2). حيث نفترض خوارزمية APS حساب عدد قفزات المسافة الأقصر بين العقد المتصلة اعتماداً على مفهوم شعاع المسافة (DV)، وهذا سيتم حسابه باستخدام التابع:

$$[dist, path] = graphshortestpath (G,S,T) \quad (3)$$

حيث: G : مصفوفة تمثل المخطط البياني لتوزيع العقد.

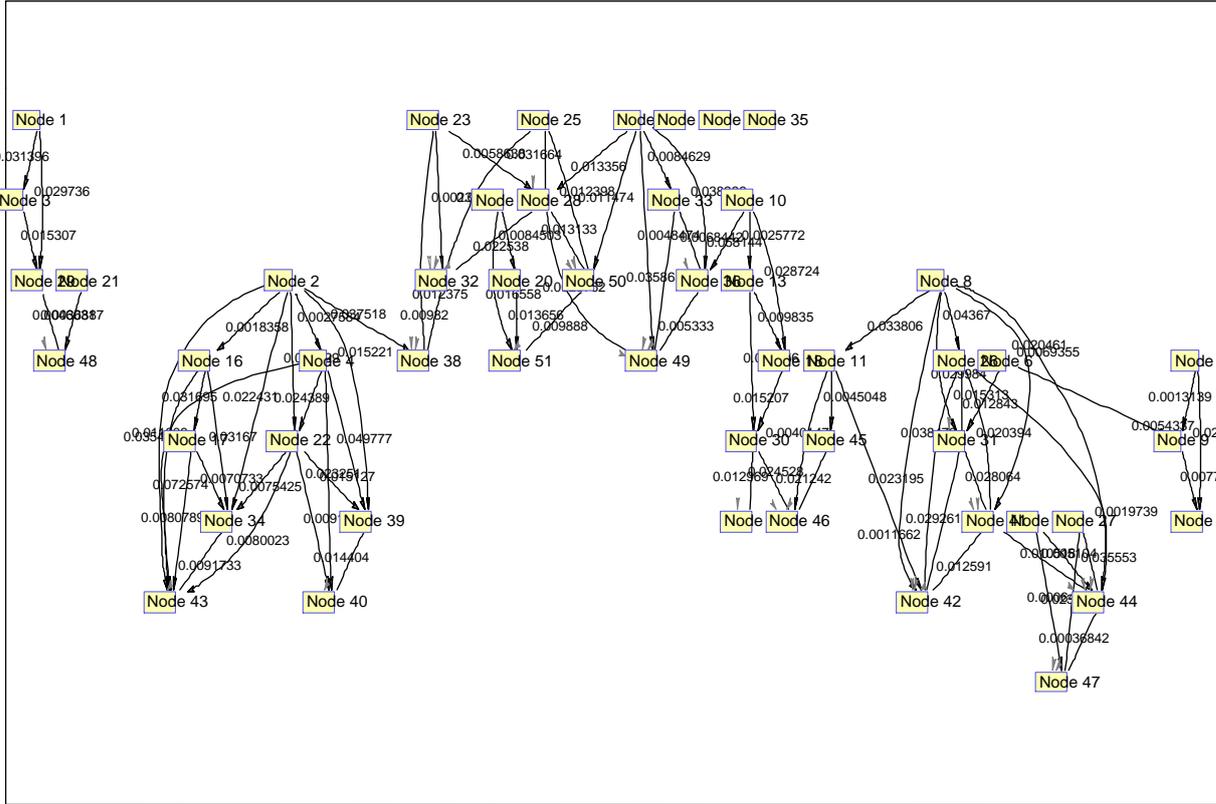
S : عقدة من G .

T : عقدة من G .

$dist$: كلفة المسار الأقصر بين العقدتين S و T .

$path$: العقد التي تشكل المسار الأقصر بين العقدتين S و T .

يظهر الشكل (8) المخطط البياني المستخدم لحساب المسار الأقصر للشبكة المفروضة:



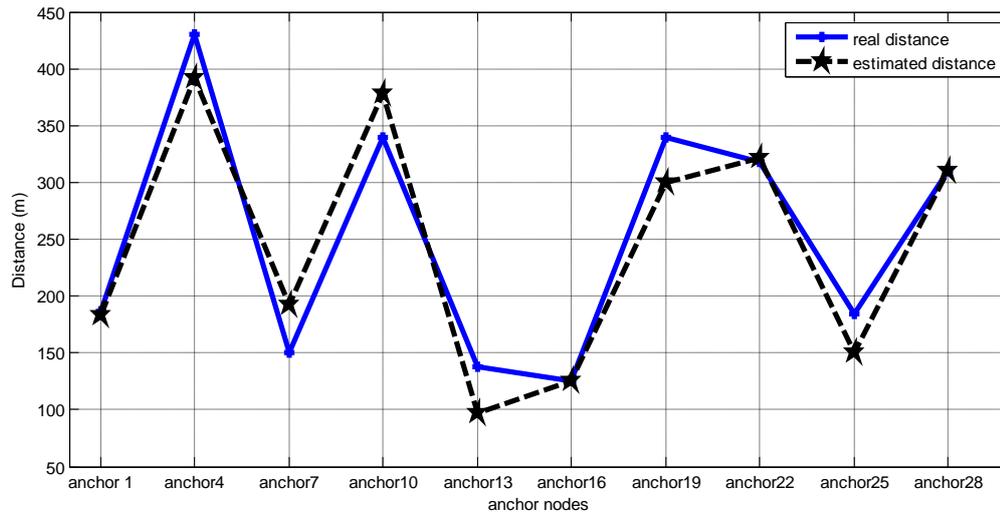
الشكل (8): المخطط البياني المستخدم لحساب المسار الأقصر بين العقد.

الخطوة الرابعة: تخزين النتائج في مصفوفة S تتضمن: رقم عقدة المرسة، رقم العقد المتصلة مع عقدة المرسة، المسافة الحقيقية، عدد القفزات، المسافة المخمنة، خطأ المسافة.

النتائج والمناقشة:

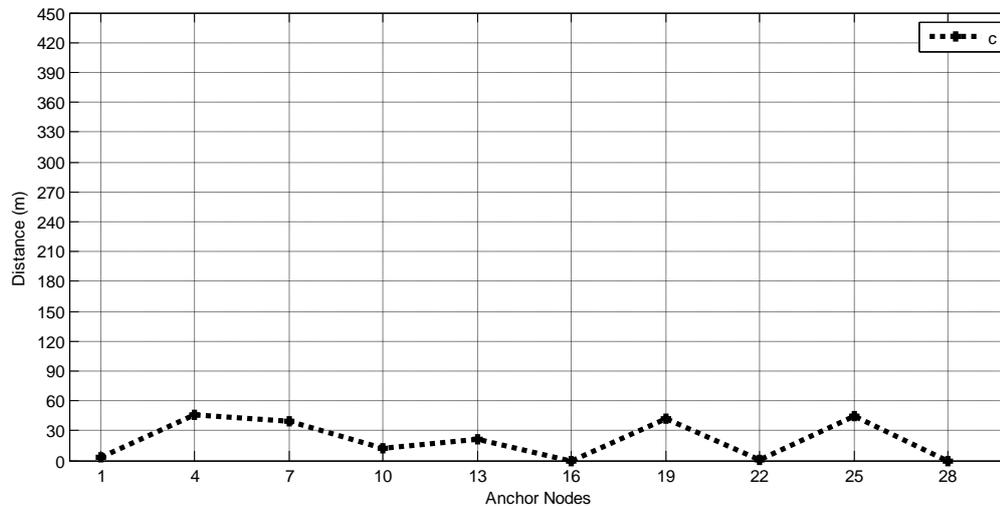
فيما يلي عرض نتائج المحاكاة من أجل مجموعة من عقد المرسة التي تم اختيارها بحيث تتوزع في مناطق متباعدة من البحيرة وتشمل الاتجاهات الأربعة ووسط البحيرة.

في الشكل (9)، نلاحظ المخططين البيانيين للمسافة المحسوبة بواسطة الخوارزمية (Estimated distance) والمسافة الحقيقية المفروضة.



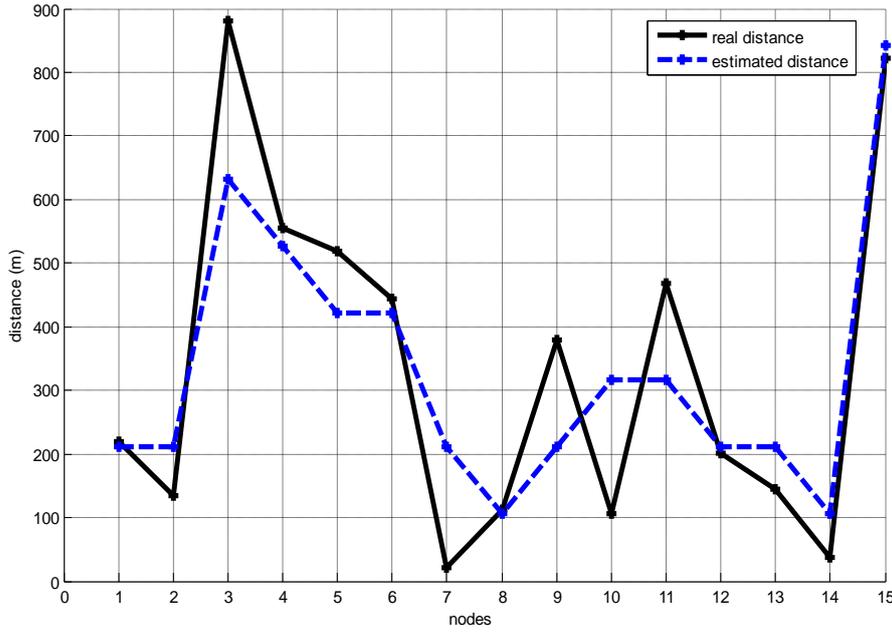
الشكل(9): العلاقة بين المسافتين الحقيقية والمخمنة عند عقد مرسة مختلفة لعقد مختلفة

نلاحظ أن المسافة الحقيقية تتساوى تقريباً مع المسافة المخمنة عند معظم عقد المرسة باستثناء بعض العقد. للتأكد من مقدار هذا التأثير قمنا بحساب مقدار خطأ المسافة. اعتمدنا على تكرار المحاكاة 10 مرات وحساب عامل التصحيح لكل مرة وأخذ المتوسط الحسابي له. فحصلنا على المخطط الآتي:



الشكل(10): حساب مقدار خطأ المسافة بين المسافتين الحقيقية والمخمنة عند عقد مرسة مختلفة لعقد مختلفة

نلاحظ أن قيمة الخطأ هي ضمن المجال [0-46] وهذا مقارنة بأبعاد البحيرة يعد قيمة صغيرة نسبياً. ويعد مؤشراً على قدرة هذه الخوارزمية على إعطاء مواقع العقد مع نسبة خطأ صغيرة لا تؤثر على أداء عمل الشبكة. كما أجرينا دراسة لحساب الفرق بين المسافة الحقيقية والمسافة المخمنة بالنسبة لعقدة مرسة واحدة، ومن خلال ما أظهرته النتائج تبين لنا أن القدرة على تخمين الموقع الصحيح يتعلق بشكل من الأشكال ببعد القفزات، وكلما كانت العقدة أقرب إلى عقدة المرسة كان خطأ تحديد الموقع أقل. فمثلاً بالنسبة للعقدة 19 حصلنا على النتائج الآتية التي يبينها الشكل (11).



الشكل (11): المسافات الحقيقية والمخمنة عند العقدة 19

حيث نلاحظ أن المسافة المخمنة تساوي تقريباً الحقيقية بالنسبة لعقد تقع على بعد قفزة أو قفرتين مثل العقد 1 و 8 و 12 ويزداد الفرق بزيادة عدد القفزات. وهذا يدل أن فعالية هذه الخوارزمية يزداد بزيادة الكثافة.

الاستنتاجات والتوصيات:

نلاحظ من النتائج السابقة أنه في حال الكثافة المثالية للشبكة فإن أكثر من 80% من نتائج تخمين المسافات إلى عقد الحساسات قريبة جداً من المسافات الحقيقية، إذ أن المسافة المصححة كقيمة عظمى لا تتجاوز الـ 50 متراً، وهي قيمة صغيرة إذا ما نسبت إلى أبعاد البحيرة من جهة ومجال تغطية الحساس من جهة أخرى.

لكن أداء هذه الخوارزمية يتحسن أكثر فأكثر كلما كانت الشبكة كثيفة لأن عدد القفزات يلعب دوراً بارزاً في دقة تحديد الموقع، فكلما كان عدد القفزات أقل كلما كان تحديد الموقع أدق. لذا فإننا نوصي باستخدام هذه الخوارزمية في هذا النمط من التطبيقات ليتم استخدامها مع شبكات الحساسات اللاسلكية تحت الماء.

المراجع

- [1] MohsinMurad, Adil A. Sheikh, Muhammad Asif Manzoor, EmadFelemban, and SaadQaisar, "A Survey on Current Underwater Acoustic Sensor Network Applications", International Journal of Computer Theory and Engineering, 7(1): 51-56, February 2015.
- [2] J. Liu, Z. Wang, M. Zuba, Z. Peng, J. Cui, and S. Zhou, "JSL: Joint time synchronization and localization design with stratification compensation in mobile underwater sensor networks", 9th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON), pp. 317-325, 2012.

- [3] A. Syed and J. Heidemann, “*Time Synchronization for High Latency Acoustic Networks*”, Twenty-five Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM), Barcelona, Spain, 2006.
- [4] N. Chirdchoo, W. Soh, and K. Chua, “*MU-Sync: a time synchronization protocol for underwater mobile networks*”, Proceedings of the third ACM international workshop on Underwater Networks (WuWNet’08), pp.4-35, 2008.
- [5] K. Chen, Y. Zhou and J. He, “*A localization scheme for underwater wireless sensor networks*”, International Journal of Advanced Science & Technology, Vol 4, march, 2009.
- [6] J. Kong, J.-H. Cui, D. Wu, and M. Gerla, “*Building underwater ad-hoc networks and sensor networks for large-scale real-time aquatic applications*”, In Proceedings of IEEE Military Communications Conference (MILCOM’05), Atlantic City, New Jersey, USA, pages 1535–1541, Oct 2005.
- [7] G. Han, J. Jiang, L. Shu, Y. Xu and F. Wang, “*Localization Algorithms of Underwater Wireless Sensor Networks*”, Sensors 12(2): 2026-2061, 2012.
- [8] M. Hosseini, “*Received Signal Strength Indication Based Distance Measurement Using Lambert Function For Underwater Wireless Sensor Network Localization*”, PhD thesis, University Teknologi Malaysia January 2010.
- [9] F. Famoori and R. Javidan, “*A New Localization Algorithm for Underwater Acoustic Sensor Networks*”, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 7(4): 114-122, 2013.
- [10] Walteneus W. Dargie and Christian Poellabauer, “*fundamentals of wireless Sensor network theory and practice*”, John Wiley & Sons, Inc. 2010.
- [11] S. Wang and H. Hu, “*Wireless Sensor Networks for Underwater Localization*”, technical report: CES-521, ISSN 1744-8050, Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press; Beijing, China, 2012.
- [12] L. Doherty, K. Pister and L. El Ghaoui, “*Convex Position Estimation in Wireless Sensor Networks*”, Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM), June 2001, Volume 3, pp. 1655–1663.
- [13] Y. Shang, W. Ruml, Y. Zhang and M. Fromherz, “*Localization from Mere Connectivity*”, Proceedings of the 4th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing (MobiHoc), June 2003; pp. 201–212.
- [14] Y. Shang and W. Ruml, “*Improved MDS-Based Localization*”, Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM), March 2004, pp. 2640–2651.
- [15] D. Niculescu, and B. Nath, “*Ad hoc positioning system (APS)*”, IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM), vol.5, pp:2926-2931, San Antonio, USA, Nov 2001.
- [16] <http://sana.sy/?p=227851>
- [17] <http://wikimapia.org/#lang=en&lat=35.340509&lon=36.023183&z=15&m=b>