

تحسين عمل بروتوكول التوجيه المتكيف في شبكات حساسات الجسم اللاسلكية (WBAN) باستخدام خوارزمية النمل

م. م. مرغريت ديج

د. د. مثنى القبيلي

(الإيداع: 14 تشرين الأول 2020 ، القبول: 24 تشرين الثاني 2020)

الملخص:

تعد شبكات الجسم اللاسلكية حقلاً بحثياً جديداً وموضع اهتمام الكثير من الباحثين لما لها من أهمية في تطبيقات المراقبة عن بعد لحالات المرضى المختلفة، ويعد معيار جودة الخدمة مهماً جداً لتوصيل البيانات الطبية المحسوسة بدقة و خلال الزمن الحقيقي. وقد درس عددٌ من بروتوكولات التوجيه المعنية بجودة الخدمة في بيئة جسم الإنسان، منها البروتوكول المتكيف مع ديناميكية الوسط Adaptive RPWBAN والذي يبيّن قرار التوجيه على نحو مستقل من العقدة وأثبت أنه متين، ومتكيف وقابل للتطوير. كذلك درس بروتوكول التوجيه البسيط المستقر Simple Stable المعتمد على اختيار دوري لعقدة ممرّر Forwarder يتم عن طريقها الإرسال للمجمع بهدف توفير الطاقة في كل دورة توجيه. من ناحية أخرى ومن محاكاة عمل الطبيعة درس مجتمع النمل دراسة معمقة وهو أحد أشكال الذكاء السربي Swarm Intelligence لمؤلف من عدة وحدات تنسق العمل فيما بينها بطريقة ذاتية وغير مركزية وغير مباشرة و وجّه البحث لإيجاد بروتوكول توجيه لاختيار الطرق بقرار جماعي للعقد وفق خوارزمية النمل وتقييم معايير جودة الخدمة بناءً على ذلك. في هذا البحث نقدم بروتوكول توجيه متطوراً عن بروتوكولي Simple Stable /Adaptive RPWBA لتوصيل قيم حيوية مختلفة مثل (درجة الحرارة، الأوكسجة، معدل ضربات القلب والضغط، حمض اللبن و المخطط الكهربائي للقلب) لنقطة تجميع sink وفق معايير جودة خدمة مناسبة لنوع البيانات المنقولة باستخدام خوارزمية النمل. أظهرت المحاكاة أن البروتوكول المقترح وجد المسار الأقصر لإرسال البيانات مع المحافظة على قيم عالية للطاقة المتبقية لعقد الشبكة و من ثم زمن الحياة للشبكة أفضل، وزمن التأخير الكلي صغير جداً وضياح المسار جيد ولكن ذات قيمة أعلى بقليل من بعض البروتوكولات.

الكلمات المفتاحية: شبكات حساسات الجسم اللاسلكية، بروتوكولات التوجيه، خوارزمية النمل، جودة الخدمة.

• أستاذ مساعد، قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية سوريا.
 **طالبة دراسات عليا (ماجستير)، قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية سوريا.

Enhancement Of Adaptive Routing Protocol In Wireless Body Area Networks (WBAN) Based–On Ant Colony Algorithm

Dr. Eng. Mothanna ALkubaily*

Eng. Margret Dabaj**

(Received: 14 October 2020 , Accepted: 24 November 2020)

Abstract:

Wireless Body Area Network is one of the most important research in WSN fields regarding their applications in remote monitoring for patient. QoS requirements are very crucial to evaluate the medical sensed data accurately and currently. It has been studied ADAPTIVE ROUTING PROTOCOL WBN which is adaptive to the changes in the environment. It is robust, adaptive and could be developed into the future. Another protocol is Simple Stable Routing Protocol which the Data has been sent via a forwarder in each round, the aim is to enhance the nodes energy.

On the other hand, Nature conducts us to deepen the study of the ant colonies which are one of the Swarm Intelligence (SI) features. In order to develop the Adaptive routing protocol for WBAN; the routing decision is constructed depending on the decentralized, indirect collaboration between ants. In this paper, we introduce a developing routing protocol based on ant colony algorithm to find the shortest path to send the biological values; Temperature, SaO₂, Heart rate, Pressure and Electrocardiogram E.K.G; to a sink and saves the values of QoS parameters

The results refer to a high performance of the routing protocol and save good values of QoS such like residual energy for nodes and network life as a sequence, tiny end to end delay. Finally good path loss value but suffering from higher values compared with some previous protocols.

Keywords: Wireless Body Area Networks (WBAN), Routing Protocols , Ant Colony Algorithm, QoS requirements.

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

** Master student, Department of Communication and Electronics, Faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

1. المقدمة:

يحتاج مريض العناية إلى مراقبة دورية لبياناته الحيوية لتنفيذ الإجراءات المناسبة عند الضرورة، وتصنف البيانات الحيوية إلى عدة أنواع وهي: بيانات عادية كدرجة الحرارة، بيانات ذات متطلب دقة مثل معدل الأكسجة في الدم والضغط ومعدل ضربات القلب، بيانات خاضعة للزمن مثل المخطط الكهربائي للقلب وأخيراً بيانات حرجة مثل تجاوز المعدلات الطبيعية للمريض. يندرج عمل شبكات حساسات الجسم اللاسلكية WBAN في نقل هذه البيانات من حساسات منتشرة على جسم الانسان إلى مركز معالج رئيسي (sink) ومن ثم عبر العقد BAN وهي أجسام المرضى، ويتم توجيه هذه البيانات إلى مركز مراقبة عن بعد وفقاً لدراسة (MOVASSAGHI وزملاؤه، 2014).

تتألف شبكة الحساسات اللاسلكية من عقد صغيرة الحجم، قليلة التكاليف ومحدودة الطاقة تتحسس للوسط وفيها جهاز حاسوب لمعالجة البيانات كما أورد (CHEN وزملاؤه، 2013). تقوم الحساسات بتخزين وتوجيه القراءات المحسوسة إلى مركز معالجة عن بعد، وهي تعمل بدون تخطيط مسبق ضمن مجال إرسال راديوي محدود متضمنة معلومات التحكم والقراءات. لذا يجب على بروتوكول التوجيه أن يكون ذاتي التنظيم قابلاً للعمل في البيئات المعقدة وقادراً على التعامل مع التداخلات الراديوية لاكتشاف الطريق الأفضل بين الطرق متعددة المسارات وفقاً لـ (NEGRA وزملاؤه، 2016). وتجب الإشارة إلى أن بيئة جسم الإنسان هي بيئة خاصة عند دراسة بروتوكول التوجيه من حيث أي حركة للمريض مثل حركة يد يمكن أن تقطع الاتصال الراديوي بين العقد.

أشار (BHANUMATHI وزملاؤه، 2017) لوجود حاجة لتصميم بروتوكول توجيه للبيانات يحقق متطلبات جودة الخدمة مثل الحفاظ على طاقة الحساس المتبقية لأطول فترة ممكنة، جودة الوصلة وضياح مسار أقل ما يمكن، أصغر زمن تأخير للمسار كون تشخيص البيانات المرسله يؤثر على حياة المريض، زمن حياة الشبكة الكلي وعدد الرزم الناجحة.

يقوم بروتوكول التوجيه المتكيف Adaptive RPWBAN ببناء القرار من كل عقدة بشكل مستقل معتمداً على استراتيجية التعلم بالتعزيز والخبرة وفق دراسة (KHUHRO وزملائه، 2018) بهدف إيجاد المسار الأقصر. من جهة أخرى يقوم بروتوكول التوجيه المستقر البسيط في شبكات الجسم اللاسلكية Simple Stable RP خلال كل دورة زمنية بانتخاب عقدة موجهة من قبل كل العقد، تملك هذه العقدة طاقة متبقية أكبر من باقي العقد ومسافة أصغر عن المجمع حيث ترسل كل عقد الشبكة الأخرى لهذه العقدة لتكون وسيطة في الإرسال إلى المجمع كما درس (NADEEM وزملائه، 2013).

تم تسليط الضوء والتعمق في دراسة خوارزمية النمل من قبل (DORIGO وزملائه، 2006)، هذه الخوارزمية تتألف من وحدات صغيرة لها قدرات محدودة تتواصل فيما بينها بطريقة غير مباشرة عبر الوسط المحيط من خلال ترك علامات عليه. يلعب الوسط المحيط دوراً محورياً في تحديد المسارات الأفضل ويساعد في تغيير اتخاذ القرار عند تغيير طبيعة الوسط لذا يكون القرار جماعياً وليس قراراً مستقلاً.

2. هدف البحث:

لا يزال حقل البحث في شبكات حساسات الجسم اللاسلكية في المجال الطبي حقلاً حديثاً قيد الدراسة للتوصل لتوجيه أمثلي للبيانات في بيئة غير متجانسة (جسم الإنسان) وحساسة لمتطلبات جودة الخدمة، ولا توجد دراسة مرجعية في تطبيق قرار جماعي للعقد وفق خوارزمية النمل على هذا النوع من الحساسات حسب بحثنا علماً أن لها فوائد كبيرة ومتكيفة.

سيتم في هذا البحث تصميم بروتوكول توجيه خاص بجسم الإنسان هدفه تحقيق متطلبات جودة الخدمة ولكن يعتمد على القرار الجماعي لخوارزمية النمل وليس القرار الفردي للعقدة. يكون العش هو المجمع sink الموجود على جسم المريض وتتطلب منه النملات وفق دورات زمنية متكررة باتجاه كل عقد الشبكة للبحث عن المسار الأقصر للعودة إلى المجمع أخيراً. ثم يُنفذ الطور الثاني وهو تجميع المعلومات من محطات المسار (الحساسات) وهي (الحرارة Temp، معدل الأكسجة في الدم SaO2، معدل نبضات القلب Heart Rate، الضغط Pressure، المخطط الكهربائي للقلب E.K.G) (وهو ليس موضوع اهتمام هذا البحث العلمي). وبعد إيجاد المسار الأقصر يتم عرض نتائج طاقة العقد المتبقية الناتجة عن المسارات الحاصلة وضياع المسارات وأزمنة كل منها. أخيراً سيتم مقارنة النتائج مع البروتوكول Adaptive RPWBAN المتكيف والبروتوكول البسيط المستقر Simple Steady المعتمد على القرار الفردي للعقدة.

3. مواد وطرائق البحث:

طبق سيناريو المحاكاة على قاعدة برنامج **MATLABR2020a** وهو برنامج رائد في التطبيقات الهندسية والرياضية وكذلك برنامج **OMNET++** وهو إطار عمل لمحاكاة C++ لبناء أجهزة محاكاة الشبكة بلغة (NED (Network Description). باستخدام محاكي **Castalia** الداعم لشبكات الحساسات اللاسلكية وحساسات الجسم اللاسلكية من أجل الشبكات ذات الأجهزة منخفضة الطاقة لتعطي قيماً قريبة من الواقع وتحاكي سلوك العقد الحقيقية كما تدعم البيئات الديناميكية. حيث سيتم تصميم الشبكة وفق سيناريو محدد، وتطبيق نسخة البروتوكول المعتمد على خوارزمية النمل، ليتم بعدها تحديد البارامترات المرغوب بدراستها، وصولاً إلى إتمام عملية المحاكاة وإظهار النتائج ومقارنتها مع البروتوكولات السابقة.

1.3 الدراسات المرجعية Related Works

إن بروتوكول التوجيه (RP) Routing Protocol هو مجموعة من القواعد التي تعمل في الشبكة لتوفير المعلومات الخاصة ببنية الشبكة وتحليلها لاختيار المسار الأفضل لتوجيه البيانات نحو وجهة محددة ثم تقديم المسارات إلى العقد التي تقوم بعملية التوجيه. ونظراً لخصوصية بيئة جسم الإنسان من جهة واختلاف طبيعة البيانات الحيوية المنقولة من جهة أخرى فمنها يكون حساس للدقة ونسبة الخطأ Reliability-Based packets مثل الأكسجة، ومنها يكون حساس للتأخير الزمني Delay-Based Packets مثل المخطط العضلي وتصوير عملية جراحية، ومنها يُعتبر بيانات عادية Ordinary Packets مثل درجة الحرارة وأخيراً بيانات حرجة ذات أولوية Critical Packets مثل مخطط القلب، لذلك وُجدت الحاجة لدراسة بروتوكولات توجيه تتلاءم مع بيئة الشبكة وتلبي متطلبات جودة الخدمة (NEGRA وزملاؤه، 2016).

ومن الملاحظ في دراسة العديد من بروتوكولات التوجيه في WBAN أن هذه البروتوكولات تلبية متطلب واحد فقط من متطلبات جودة الخدمة. يحقق بروتوكول التعلم بالتعزيز (RL-QRP) Reinforcement Learning متطلب التأخير الكلي ولكن يعاني من مشكلة الطاقة وفق دراسة (LIANG وزملائه، 2008)، وينقل البروتوكول متعدد الأغراض (DMQoS) (Data-centric Multi Objective كامل البيانات بدون أخذ الزمن بعين الاعتبار وفق دراسة (Razzaque وزملائه، 2011)، أما البروتوكول الحساس للتأخير (QPRDQoS) QoS Peering RP for Delay يحتاج لطاقة عالية بحسب (KHAN و زملائه، 2015). قام (BANUSELVARASWATHY وزملاؤه، 2020) بدراسة بروتوكول يحدد المسار بناء على حرارة العقدة بتحديد حدود عليا، أما في بحث (PARK وزملائه، 2020) فقد تم تصميم بروتوكول يعتمد على Fuzzy logic لمراقبة المريض. وأخيراً البروتوكول الديناميكي Adaptive RP الذي درسه (KHUHRO وزملائه،

(2018) يعمل بالتعلم بالتعزيز فإنه يحقق معايير جودة الخدمة ولكنه يعتمد على قرار فردي للعقد في التوجيه. من سلبيات القرار الفردي للعقدة في التوجيه هو الحاجة لكمية كبيرة من المعلومات عن العقد الجيران من أجل صنع القرار ويسبب صنع قرار غير صحيح حدوث إرسال فاشل وبالتالي يتم تجنب العقدة في عمليات الإرسال اللاحقة. من ناحية، أخرى حازت خوارزميات الذكاء السربي اهتماماً واسعاً من حيث فعاليتها وقابليتها للتكيف في البيئات المختلفة وفق (DORIGO وزملائه، 2006) حيث أنها تتألف من وحدات لها قدرات محدودة تتواصل فيما بينها بطريقة غير مباشرة عبر الوسط المحيط من خلال ترك علامات عليه ويتم بناء قرار جماعي للعقد بهدف إيجاد المسار الأفضل لنقل البيانات. ومن هذه الخوارزميات خوارزمية النمل Ant Colony Algorithm التي تمتاز بتكيفها مع تغيرات الوسط وبأنها موزعة. تطلق هذه الخوارزمية نمالات صناعية من مركز يدعى عش باتجاه عقد الشبكة بهدف اكتشاف المسار وتعتمد النملة على المعلومات الإرشادية من الوسط في اختيار العقدة التالية حتى تصل إلى الهدف ثم تعود باتجاه العش وعند عودتها تفرز مادة تسمى فيرومون وعندما تنطلق النملات التالية فإنها تميل لاختيار الطريق ذات الفيرومون الأعلى.

2.3 بروتوكولات التوجيه المعتمدة على التعلم بالتعزيز والمعلومات الإرشادية:

تكون خوارزمية التعلم هي بالتجربة والمكافأة وفق دراسة (LIANG وزملائه، 2008) حيث تقوم كل عقدة بفعل وهو إرسال بيانات إلى عقدة جار ويعود هذا السلوك بتابع مكافأة إما سلبية أو ايجابية ومع التكرار تتعلم العقدة اختيار الطريق ذات المكافأة الأكبر، أي أن المعلومات الإرشادية هي معلومات من الوسط ترشد العقدة للقرار الأمثل. يمكن أن يتم التعلم بالتعزيز من الوسط مع وجود مراقب يشارك بعملية اختيار الطريق كما في تجربة الصياد والفريسة الذي يهدف للوصول للفريسة بأقل خطوات كما درس (TAN وزملائه، 1998)، وكانت النتيجة بمساعدة صياد مراقب أفضل بـ 5 مرات من الاعتماد على صياد واحد.

وجد الباحثون (KHUHRO وزملائه، 2018) في دراسة بروتوكول التوجيه المتكيف في استخدام وحدتي AHC Adaptive Heuristic Critic و TD Temporal Difference أن كل عقدة تتعلم من الوسط وتؤثر فيه. تحدد كل عقدة موقع الجيران ويأخذ لكل جار جودة الوصلة والطاقة المتبقية وتأخير الرتل وعدد القفزات من جار الهدف، وترسل العقدة الحالية هذه المعلومات إلى العقدة الجارة التالية، ينتج عن عملية الإرسال تابع يسمى تابع جودة النقل v و بناءً على قيمة هذا التابع يُعطى تابع مكافأة للعقدة الذي يعبر عن احتمالية إرسالها لرمزة ناجحة كما هو موضح في العلاقة (1) وفق الدراسة (KHUHRO وزملائه، 2018):

$$r_a^s = \lambda_1 E_{res} + \lambda_2 Linkr_{i,j} + \lambda_3 Q_t + \lambda_4 H_{dis} \quad (1)$$

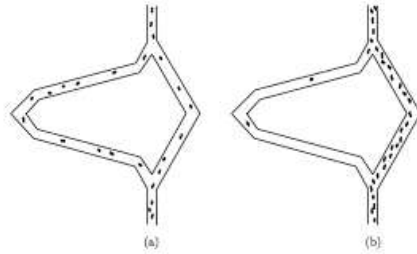
حيث s هي العقدة الحالية و a هو الفعل المطبق، و r تابع المكافأة، كما أن $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ هي الأوزان مضروبة بقيم جودة الخدمة: من طاقة متبقية في العقدة E_{res} وجودة الوصلة بين العقدتين i, j $Linkr_{i,j}$ وحجم الرتل الحاوي على الرزم في العقدة التالية Q_t والمسافة بين العقدة الجار والهدف H_{dis} .

يكون تابع المكافأة مضروباً باحتمالية الإرسال الناجح أو الإرسال الفاشل. في حال الإرسال الفاشل يتم معاقبة العقدة بتابع v منخفض. ويتم الإرسال عن طريق العقد ذات المكافأة العالية ويكون البروتوكول متكيفاً حسب الاستراتيجية التكرارية TD.

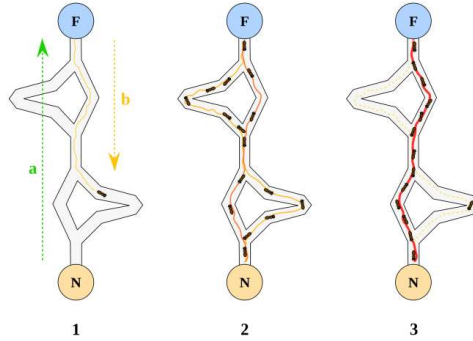
ومع الوقت تميل العقدة لاختيار الطريق الذي يعود عليها بمكافأة أكبر. يحقق هذا البروتوكول معايير QoS المختلفة في بيئة ديناميكية.

3.3 مبدأ عمل خوارزمية النمل **Ant Colony Optimization (ACO)** وآلية القرار الجماعي للوصول للحل الأمثل:

في بداية عام 1990 تم اكتشاف خوارزمية النمل Ant Colony Optimization من قبل العالم (DORIGO وزملائه، 2006)، تم استلهام عمل هذه الخوارزمية من عمل النمل الطبيعي. تتألف الخوارزمية من مجموعة من النملات الصناعية تتطلق وفق دورات زمنية وتختار طرقاً عشوائية للبحث عن الهدف. حالما تصل النملة إلى الهدف تعود إلى العش من نفس الطريق تاركة خلفها مادة كيميائية تسمى الفيرومون على طول المسار بحيث تدل النملات التاليات على الطريق الذي اختارته. وفي دورة زمنية تالية تتطلق نملات أخرى تميل لاختيار الطريق ذو الفيرومون الأعلى، ومع تكرار استخدام نفس الطريق تضيف أيضاً فيرومون فيزداد تركيزه وعندما يصبح تركيزه عالياً جداً بسبب اتباع عدد كبير من النملات الطريق نفسه، يصبح هذا الطريق فعالاً في عملية النقل. كما يتم الإشارة إلى أن الفيرومون يتبخر مع مرور الزمن. يوضح الشكل (1) تجربة الثنائي في خوارزمية النمل البسيطة بينما يوضح الشكل (2) آلية اكتشاف الطريق الأقصر في هذه الخوارزمية حسب ما شرح أعلاه.



الشكل رقم (1): تجربة الجسر الثنائي في خوارزمية النمل البسيطة



الشكل رقم (2): اكتشاف الطريق الأقصر في خوارزمية النمل البسيطة

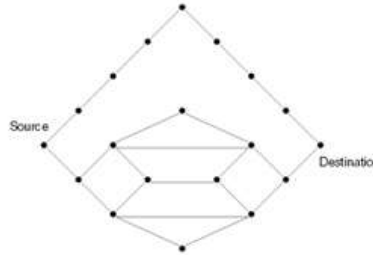
4.3 فوائد خوارزمية النمل في شبكات الحساسات اللاسلكية:

- تمتاز خوارزمية النمل في العديد من الفوائد في شبكات WSN:
- خوارزمية ACO خوارزمية موزعة لذلك تتخفف معدلات الفشل في التواصل بين العقد.
- تنفيذ عمليات بسيطة في كل عقدة من أجل توجيه الرزم بين العقد للوصول إلى المجمع sink
- متكيفة مع كل تغيرات البيئات المختلفة في العالم الحقيقي
- العمل مع تطبيقات الزمن الحقيقي.

5.3 أنواع خوارزمية ACO:

• خوارزمية Simple-ACO

قام (DORIGO وزملاؤه، 2004) بإجراء العديد من الاختبارات لتقييم بعض العوامل السلوكية للنمل مثل عدد النملاط، تبخير الفيرومون، تحديث الفيرومون (كتابع للطريق الأمثل). بزيادة عدد تكرارات تنفيذ الخوارزمية في برنامج المحاكاة تزداد احتمالية النمل باختيار طريق محدد وتقترب قيمة الاحتمال إلى 1 بالنسبة لهذا الطريق بينما تكون بالنسبة لطرق أخرى مساوية لـ 0.



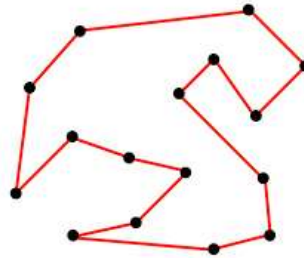
الشكل رقم (3): شكل معقد لاكتشاف الطريق الأقصر بخوارزمية النمل

يجب على النمل صنع قرارات صحيحة أثناء الانتقال بين العقد للحصول على المسار الأفضل في هذا المخطط المعقد كما هو موضح في الشكل (3)، وفي حال حدوث قرار خاطئ ستتولد مسارات جزئية تشكل حلقات مغلقة. يبدأ النمل في الشكل السابق من مصدر العش، ولديه خياران لاختيار الطريق الخالي من الحلقات، العلوي ولكنه ليس بالأمثل والسفلي الحاوي على مجموعات مختلفة من مسارات أمثلية و أيضاً مسارات أطول خالية من الحلقات وأخيراً مسارات ذات حلقات. هنا تم دراسة تأثير عدد النملاط وكمية الفيرومون المضافة في خوارزمية النمل البسيطة S – ACO بإجراء اختبارين:

- (a) تشغيل S-ACO بقيم مختلفة من عدد النمل m وقيمة ثابتة لكمية الفيرومون.
 (b) إجراء التجربة بعد الأخذ بالحسبان إضافة فيرومون متناسب مع عكسياً مع طول المسار الذي أوجدته النملة أي $\frac{\Delta\tau^{k-1}}{L^k}$ حيث L^k هو طول المسار الذي قطعه النملة k .

توصل الباحثون أنه عندما تكون كمية الفيرومون المودعة متناسبة عكساً مع طول الطريق تكون النتائج فيها أفضل بكثير.

6.3 خوارزمية النمل في حل مشكلة البائع المتجول TSP Travelling Salesman Problem:

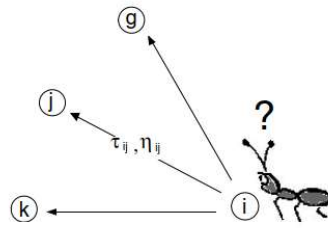


الشكل رقم (4): تجربة البائع المتجول

درس (SANTOSA وزملائه، 2011) مشكلة البائع المتجول وحلها عن طريق خوارزمية النمل. تتلخص مشكلة البائع المتجول عن وجود عدة مدن تجب زيارتها كما هو موضح في الشكل (4) بحيث ينطلق البائع من مدينة باتجاه أخرى دون تكرار زيارة أي مدينة وبعد زيارة كل المدن يعود للمدينة الأولى التي انطلق منها، ويهدف حل المشكلة إلى إيجاد أقصر زيارة اعتماداً على المسافة بين المدن.

ويتلخص عمل هذه الخوارزمية بالآتي:

- يتم حساب مصفوفة المسافات بين المدن
- تعبر مصفوفة مقلوب المسافات عن مجال الرؤيا وتستخدم كمعلومات إرشادية η_{ij} .
- يُعطى الفيرومون المبدئي للوصلات بين المدن ويتم توليد مصفوفة الفيرومون τ_{ij} .
- تتطلق النملة من مدينة الانطلاق باتجاه العقدة التالية وفق احتمال يتعلق بكمية الفيرومون والمعلومات الإرشادية



الشكل رقم (5): رسم توضيحي لاحتمالية اختيار النملة للعقدة التالية

ويكون احتمال اختيار النملة للعقدة التالية كما هو موضح في الشكل 5 حسب العلاقة (2) وفق دراسة (SANTOSA وزملائه، 2011)

$$P_k(i, j) = \frac{\tau(i, j)^\alpha * \eta(i, j)^\beta}{\sum_{u \in N_i} \tau(i, u)^\alpha * \eta(i, u)^\beta} \quad (2)$$

حيث $P_k(i, j)$ هو احتمال انتقال النملة k من العقدة i إلى العقدة j .

$\tau(i, j)^\alpha$ كمية الفيرومون على الوصلة بين العقدتين j, i . α وزن لضبط مقدار الفيرومون.

$\eta(i, j)^\beta$ المعلومات الإرشادية للنملة وهنا مصفوفة مجال الرؤيا، β وزن لضبط مقدار المعلومات الإرشادية

N_i الجيران للعقدة i .

(a) تكرر النملة الانتقال من عقدة لأخرى حتى تمر على كل المدن وتعود لمدينة الانطلاق.

(b) تتكرر العملية من أجل عدد معين من النملات m .

(c) بعد انتهاء دورة النملات يتم تحديث الفيرومون لكل مسار على طول الطريق بما يتناسب مع مقلوب المسافة الكلية بين

المدن وفق المعادلة (3) حسب دراسة (SANTOSA وزملائه، 2011)

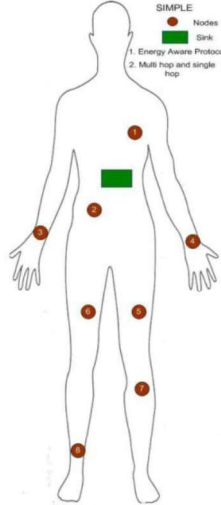
$$\tau_{r,s} \leftarrow (1 - \rho)\tau_{r,s} + \sum_{k=1}^N \Delta \quad (3)$$

(d) تتكرر العملية من أجل n تكرار ويتم الملاحظة مع التكرار أن النملات تميل لاختيار الطريق ذو تركيز الفيرومون

الأعلى والذي يدل على الرحلة الأقصر، حيث ρ هو مكافئ لتبخر الفيرومون.

7.3 بنية شبكة حساسات الجسم اللاسلكية المدروسة Body Area Network Architecture:

قام الباحثون (NADEEM وزملاؤه، 2013) بدراسة الشبكة وتصميم البروتوكول وفق الآتي كما هو موضح في الشكل (6):
تنتشر 9 عقد على الجسم مع تحديد موقع كل عقدة، إحدى هذه العقد هو المجمع. يتم حساب مصفوفة بعد كل عقدة عن المجمع، وترسل العقدتان 1 و 2 مباشرة إلى المجمع بفقزة واحدة أما باقي العقد تقوم بانتخاب عقدة أب تسمى الممرّر forwarder ترسل لها كل عقد الشبكة وبدوره يرسل للمجمع. يتغير الأب في كل دورة زمنية للحفاظ على توازن طاقة العقد، وتكون معادلة اختيار الأب: مسافة العقدة عن المجمع / طاقة العقدة. تريح العقدة ذات القيمة الأصغر وتصبح أباً. وتتغير عندما تنخفض طاقتها عن الحد الأدنى.



الشكل رقم (6): بنية شبكة حساسات الجسم اللاسلكية

باعتبار أبعاد الشبكة 1.8 m * 0.8 m وهي أبعاد جسم الإنسان تم تحديد مواقع العقد الثابتة وفق ما يلي:

- إحداثيات عقدة الكاحل (0.3, 0.1)
- إحداثيات عقدة الركبة (0.5, 0.3)
- إحداثيات عقدة الفخذ (حمض اللبن) (0.3, 0.55)
- إحداثيات عقدة الفخذ الآخر (الحرارة) (0.5, 0.55)
- إحداثيات عقدة السكر (0.37, 0.75)
- إحداثيات عقدة المخطط الكهربائي للقلب ECG (0.45, 0.9)
- إحداثيات عقدة الكف الأيسر (0.7, 0.8)
- إحداثيات عقدة الكف الأيمن (0.1, 0.8)
- إحداثيات المجمع (0.25, 1)

8.3 البروتوكول المقترح Proposed Protocol:

من الدراسات المرجعية السابقة، تم اقتراح تصميم بروتوكول يعمل في شبكة جسم إنسان مريض وفق الفرضيات التالية وفقاً لـ (NADEEM وزملائه، 2013)

الجدول رقم (1): فرضيات البروتوكول المقترح

1.8 m * 0.8 m حيث 30cm 1feet=	أبعاد الشبكة
9	عدد العقد
3	عدد النملات
10	عدد التكرارات
0.5 joules	طاقة العقد الأولية
0.1	فيرومون أولي للوصلات بين العقد

الجدول رقم (2): تنمة فرضيات البروتوكول المقترح

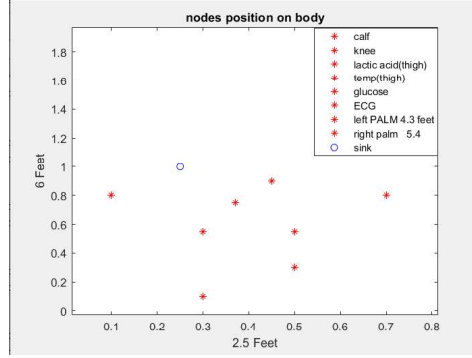
$ETX=16.7*0.000000001$ joule/bit $ERX=36.1*0.000000001$ joule/bit $Emp=1.97*0.000000001$ joule/bit $EDA=5*0.000000001$ joule/bit $do = 0.1$	عوامل الطاقة
2.4 GHz $f=$ $lambda = 0.125$ $speed = 299792458$	عرض الحزمة

9.3 مبدأ عمل البروتوكول:

- تم تحديد موقع الحساسات على جسم الإنسان، عددها 8 عقد و مجمع (NADEEM وزملائه، 2013)، بعدها تم تحديد مصفوفة المسافات بين العقد H_{dis} . وفق المعادلة (4) حسب دراسة (NADEEM وزملائه، 2013)

$$H_{dis} = \min \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad (4)$$

ويبين الشكل (7) موقع هذه العقد.



الشكل رقم (7): موقع العقد في الشبكة

- تم تحديد مصفوفة الطاقة الأولية للعقد جميعها Eo_matrix وفق الجدول (1)
- تم تحديد مصفوفة الفيرومونات الأولية على الوصلات بين العقد Thoinit وفق الجدول (1)
- تتجمع النملات في المجمع.
- تتطلق كل نملة من المجمع لتصنع رحلتها بين العقد جميعاً ثم تعود في النهاية إلى المجمع.
- يخضع احتمال اختيار النملة للعقدة الأخرى لقانونين هما المعلومات الإرشادية Heuristic Information للوسط وقيمة الفيرومونات بين العقدتين المرسل والمستقبل.
- تم أخذ المعلومات الإرشادية استناداً إلى قيمة المكافأة في البروتوكول المتكيف بحسب (KHUHRO وزملائه، 2018) وهي تابع يعبر عن مجموع طاقة العقدة والمسافة والتأخير وضياح المسار بين العقدتين وفق العلاقة (5) حسب الدراسة (KHUHRO وزملائه، 2018)

$$heuristic_{value} = \lambda_1 E_{res} + \lambda_2 H_{dis} + \lambda_3 delay_{ij} + \lambda_4 PL_{ij} \quad (5)$$

علماً أنه في البداية يكون حداً التأخير وضياح المسار مساويين للصفر، فتعتمد النملة في اختيار طريق العقدة التالية على المعلومات الإرشادية الأولية كما موضح في المعادلة:

$$heuristic_{value0} = \lambda_1 E_{res} + \lambda_2 H_{dis} \quad (6)$$

$$\lambda_1 = \lambda_2 = 1$$

- يكون احتمال اختيار النملة للعقدة التالية وفق خوارزمية النمل وفق العلاقة (2):
- تطبق النملة هذه السياسة حتى تزور كل عقد الحساسات وفق طريقة البائع المتجول TSP (SANTOSA وزملائه، 2011)

- بعد العودة إلى المجمع يتشكل مسار لكل نملة وتم فيه حساب: الطاقة المستهلكة الكلية للمسار، مسافة المسار، التأخير الكلي وضياع المسار الكلي وفق معادلة خاصة بالضياع في جسم الإنسان وتنتج قيمة تعبر عن جودة المسار الذي سلكته النملة كما في العلاقات (7) (8) (9) استناداً إلى معادلات الطاقة المستهلكة، ضياع المسار والتأخير الزمني في جسم الإنسان في البروتوكول البسيط وفق دراسة (NADEEM وزملائه، 2013)

$$Consumed_{Energy(route)} = (E_{TX} + E_{RX} + E_{DA}) * 4000 + E_{mp} * 3.38 * 4000 * (route_Distance)^{3.38} \quad (7)$$

$$Path_{Loss(route)} = [10 * \log(\frac{4\pi * do}{\lambda})^2 + 10 * 4 * \log(\frac{routeDistance}{do})] + 4.1 \quad (8)$$

$$delay(route) = \frac{routeDistance}{c} \quad (9)$$

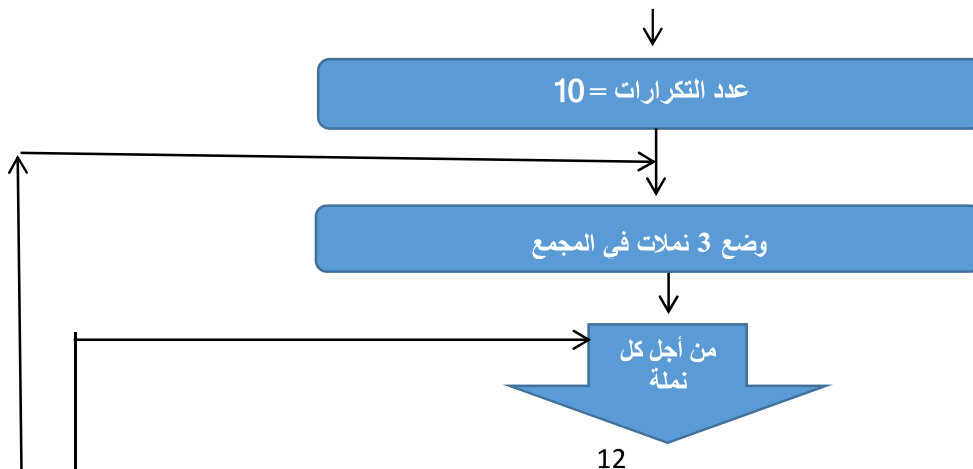
- بعد كل مسار تقوم النملة بتحديث قيمة الفيرومون على وصلات هذا المسار وتتعلق قيمته بمسافة المسار: كلما كان المسار أقصر كان تركيز الفيرومون أعلى وفق الدراسة (DORIGO وزملائه، 2004) حسب المعادلة (10):

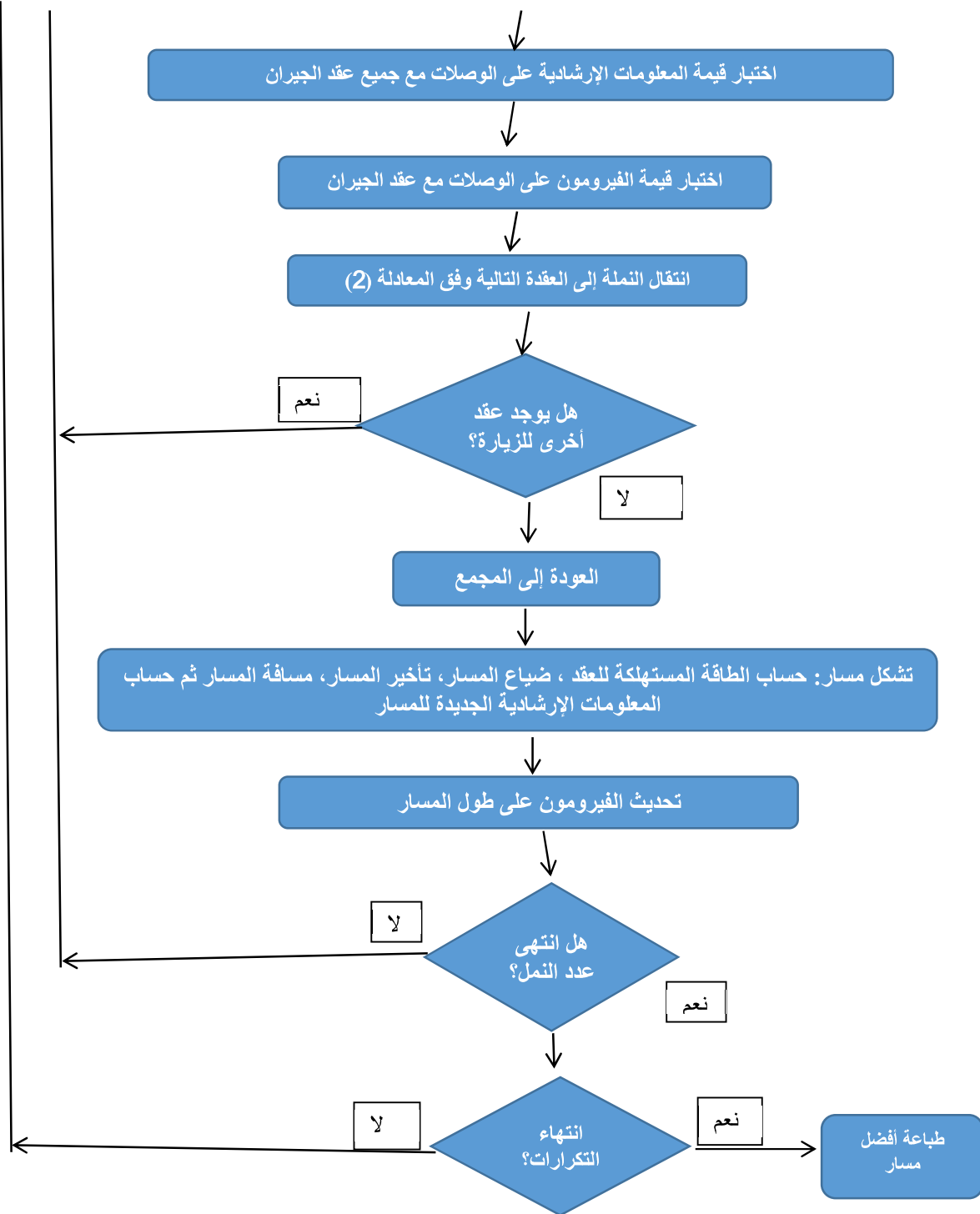
$$\tau_{r,s} \leftarrow (1 - \rho)\tau_{r,s} + \sum_{k=1}^N \Delta \tau_{r,s}^k \quad (10)$$

كما يتم تحديث المعلومات الإرشادية للوسط بعد كل رحلة لنملة حسب المعادلة (5)، وذلك بسبب تغيير قيمة طاقة العقد وتشكل ضياع للمسار وحدث تأخيرات زمنية وكلها تؤثر على احتمال اختيار النملة الأخرى للعقدة التالية في المسارات اللاحقة، ويصبح لدينا معلومات إرشادية جديدة.

- تتكرر العملية 10 مرات لأن النملات وصلت إلى اختيار نفس الطريق بعد التكرار العاشر فلا يوجد حاجة للتكرار مع ملاحظة أن كل نملة تبني قرار الانتقال للعقدة التالية متأثرة بمعلومات الوسط الإرشادية والفيرومون الذي تركته النملة التي سبقتها وبالتالي تتقارب المسارات بعد التكرار العاشر ويتم الاتفاق على المسار الأفضل من ناحية قيم جودة الخدمة وتحديد المسار الذي سيجمع المعلومات الحيوية في الطور الثاني
 - تم إجراء التجربة من أجل $E_o = 2$ joules , $E_o = 0.5$ joules.
 - ملاحظة: لم يتم زيادة عدد النملات والتكرارات حتى يتم الحفاظ على طاقة العقد قدر المستطاع.
- يوضح الشكل (8) المخطط الانسيابي لآلية عمل البروتوكول المقترح وفق خوارزمية النمل:

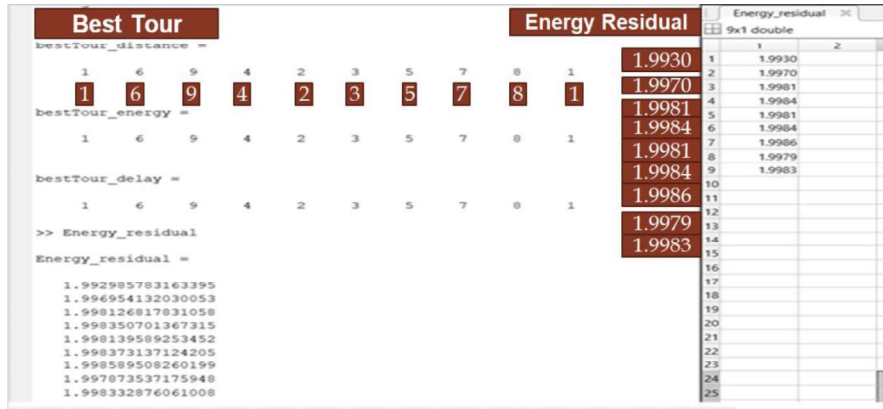
تهيئة: طاقة أولية للعقد، فيرومون أولي على الوصلات، حساب المسافات بين العقد



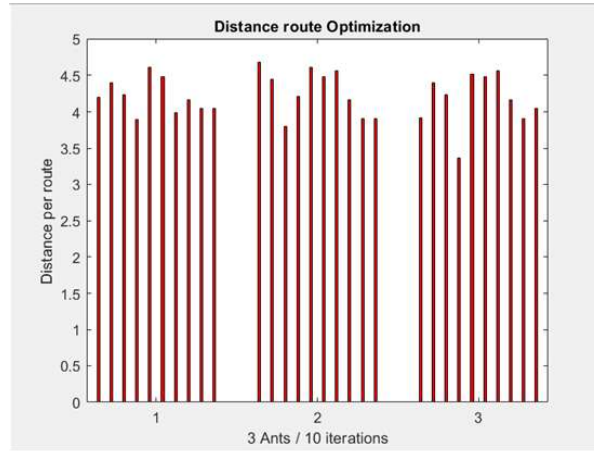


الشكل رقم (8): المخطط الانسيابي للبروتوكول المقترح

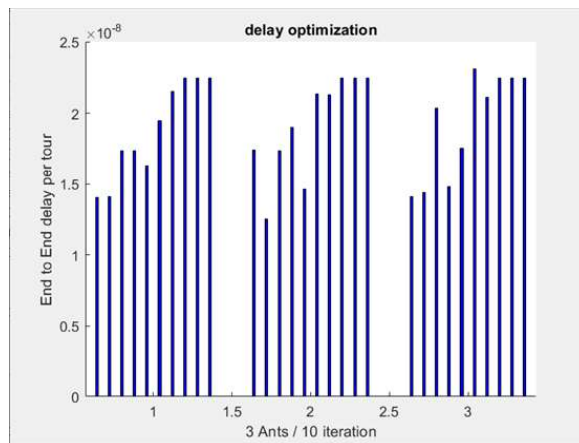
4. النتائج Results:



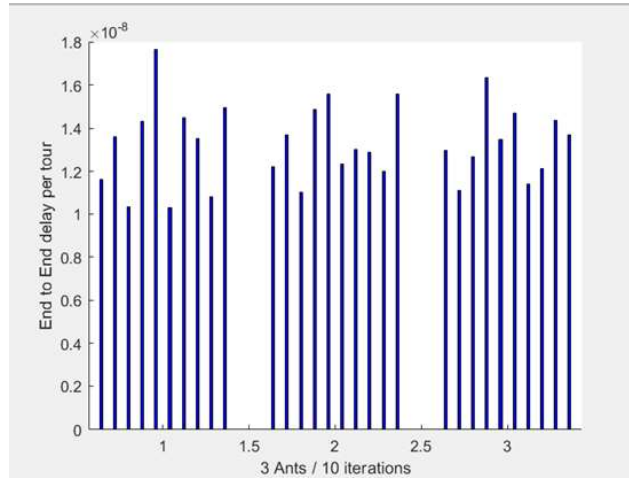
الشكل رقم (9): المسار الأقصر للنملات الثلاث بعد التكرار العاشر



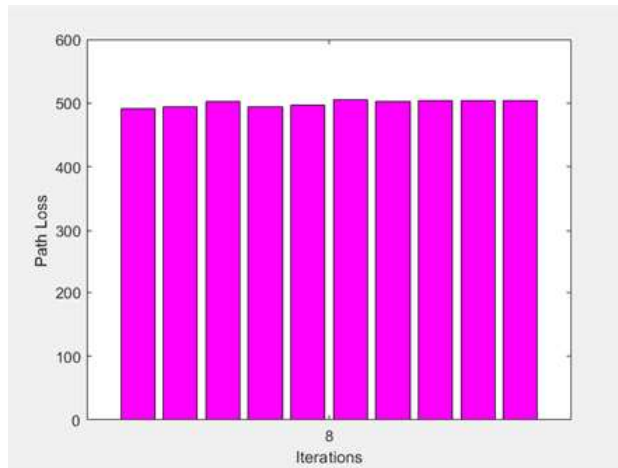
الشكل رقم (10): المسافة لكل المسارات من أجل $E_0 = 0.5$ joules



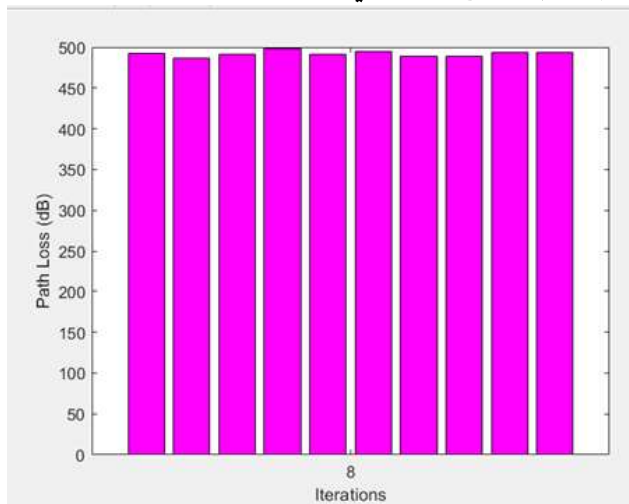
الشكل رقم (11): التأخير الزمني لكل المسارات من أجل $E_0 = 0.5$ joule



الشكل رقم (12): التأخير الزمني لكل المسارات من أجل $E_0=2$ joule



الشكل رقم (13): ضياع المسار في كل تكرار من أجل $E_0= 0.5$ joules



الشكل رقم (14) : ضياع المسار في كل تكرار من أجل $E_0= 2$ joule

الجدول رقم (3): مقارنة بين البروتوكولات التي تعتمد على قرار عقدة فردي والبروتوكول المقترح المعتمد على قرار عقد جماعي

الطاقة المتبقية Residual Energy (JOULE)	التأخير الزمني End to End delay (SECOND)	متوسط عدد القفزات	ضياع المسار (dB)	ضياع الرزم PDR لـ 3 عقد	زمن حياة الشبكة
تستهلك طاقة قليلة حتى 70% من زمن التجربة 0.5	جيد	2	380	—	50% die
0.52 - 0.76	متوسط	3	—	0.53	good
0.2 - 0.92	قليل	2.5	—	0.62	bad
0.52 - 0.74	عالي جداً	أعلى من 3	—	0.81	good
1.993 - 1.9986	$1.5 * 10^{-8}$	—	480	—	No node died

5. المناقشة:

- مسافة المسار الأقصر:

نلاحظ من الشكل (9) أن النملات الثلاث اتفقت على اختيار المسار المرفق بالشكل بعد التكرار العاشر حيث بدأت كل نملة في التكرار الأول باختيار طريق وفق وجهة نظرها وفق الشكل (10) حيث نلاحظ أن النملة الأولى في التكرار الأول أوجد مسار بطول 4.2 من واحدة المسافة، أما النملة الثانية في التكرار الأول أوجدت مسار بطول 4.8 من واحدة المسافة، أما النملة الثالثة في التكرار الأول أوجدت مسار بطول 3.9 من واحدة المسافة. وهكذا تابعت النملات البحث عن المسار الأقصر في التكرار الثاني ولكن بعد تعديل المعلومات الإرشادية من الوسط وقيمة الفيرومون وهكذا حتى وصلت إلى التكرار العاشر حيث تقاربت النملات الثلاث لاختيار الطريق الذي له نفس قيمة المسافة وهي 4 من واحدة المسافة الموضح في الشكلين (9) (10) وفق خوارزمية النمل.

من أجل حساب المسافة الكلية للمسار الواحد تم حساب المسافة الإقليدية بين العقدة الحالية والعقدة الأخرى التي تختارها النملة ثم جمع قيم المسارات الجزئية للحصول على المسافة الكلية للمسار كما في المعادلة (4)، تجدر الإشارة إلى أن البروتوكول المقترح لا يعتمد على نظرية عدد القفزات كما في البروتوكولات السابقة لأن إيجاد النمل للمسار يحتم عليه المرور بكل العقد من أجل تجميع قيم القراءات والعودة بها إلى المجمع.

ولا بد من مناقشة أن بعض المسارات التي أوجدتها النملات تقل قيمتها عن 4 من واحدة المسافة فلماذا لم يؤخذ كمسار أقصر لنقل المعلومات؟ وتعلل الإجابة إلى أن المسار المطلوب إيجاده عليه أن يلبي كل متطلبات جودة الخدمة وليس فقط المسافات الأقصر وبالتالي القيمة 4 هي مسافة المسار الأمثل الذي يحقق باقي متطلبات جودة الخدمة.

- طاقة العقد المتبقية

كما نلاحظ أيضاً في الشكل (9) أن طاقات العقد قريبة من بعضها وبالتالي يوجد توازن لطاقة العقد في البروتوكول المقترح ويكون خسارة الطاقة لإيجاد المسار الأقصر صغير جداً بالمقارنة مع البروتوكولات المدروسة سابقاً. يبين الشكل أن الطاقة المتبقية للعقد بين (1.992-1.998) joule ونستنتج أن عمر الشبكة سيكون أطول من البروتوكولات السابقة المعتمدة على قرار فردي للعقدة.

- زمن إيجاد المسار والتأخير الكلي:

من أجل حساب الزمن الكلي تم حساب زمن التأخيرات الصغيرة لانتقال النملة من عقدة لأخرى ثم إيجاد زمن التأخير الكلي End to End Delay، وفق المعادلة (10)

وكما يبين الشكلان (11) و(12) أن التأخير الكلي EndToEnd Delay صغير جداً حيث تبلغ قيمته في التكرار العاشر للنمات الثلاث $2.3 * 10^{-8} s$ من أجل طاقة أولية $E_0 = 0.5 \text{ joule}$ ، وتحقق قيمة تأخير كلي أصغر من أجل طاقة أولية $E_0 = 2 \text{ joule}$ حيث تبلغ قيمته $1.5 * 10^{-8} s$

• ضياع المسار:

يوضح الشكلان (13) و (14) أن ضياع المسار يصل إلى قيمة 450 ديسبل وهو أعلى من البروتوكول البسيط المستقر بحدود 100 dB.

6. الاستنتاجات :

تم في هذا البحث دراسة شبكات الجسم اللاسلكية وهي فرع من شبكات الحساسات اللاسلكية، وتم التعمق ببروتوكولات التوجيه المعنية بجودة الخدمة في هذه الشبكات. تم تحليل البروتوكولات التي تقوم ببناء قرار فردي لعقدة التوجيه في الشبكة بهدف إيجاد المسار الأقصر. ثم تم تصميم بروتوكول يعتمد على بناء قرار جماعي لعقد الشبكة وفق خوارزمية النمل ومقارنة نوعي البروتوكولين من حيث معايير جودة الخدمة وتم الاستنتاج أن إيجاد المسار الأقصر وفق القرار الجماعي هو الأفضل من حيث توفير طاقة العقد وتوازن طاقة الشبكة ككل وزمن إيجاد المسار مع التتويه أن ضياع المسار يكون متوسط. وكانت الاستنتاجات وفق ما يلي:

- طاقة العقد المتبقية: يركز بروتوكول تقسيم الطاقة PSR Power splitting protocol على تصغير المسار بين المرسل والمستقبل وبالتالي تصبح الطاقة غير متوازنة بين عقد الشبكة ككل حيث نلاحظ أن الطاقة المتبقية لعقد الشبكة تتراوح بين 0.2 _ 0.92 كما يوضح الجدول (3). بحسب (KHUHRO وزملائه، 2018)
- أما بروتوكول EBRAR Energy–balanced rate Routing Protocol فيركز على التوزيع المتساوي للطاقة للرسائل بين المرسل والمستقبل حيث تمت الملاحظة أن طاقة العقد المتبقية تتراوح بين 0.58 _ 0.74 وفي البروتوكول الديناميكي المتكيف Adaptive Routing Protocol PRP تتراوح الطاقة بين 0.76 _ 0.52. ويتم الإشارة إلى أن التباين وهو مقياس توزيع الطاقة للبروتوكولات الثلاثة هي بالترتيب 0.008 , 0.004 , 0.075 أي أن الطاقة غير متوازنة في PSR أما البروتوكول المقترح فحافظ على توازن بين الطاقات المتبقية للعقد لقيمة تصل 1.992 كما يوضح الجدول (3). بحسب (KHUHRO وزملائه، 2018).
- أظهرت النتائج أن البروتوكول البسيط يستهلك أقل طاقة حتى 70% من زمن المحاكاة (NADEEM وزملائه، 2013) أي أنه في زمن استقرار الشبكة تمتلك العقد طاقة متبقية للإرسال إلى المجمع ولا بد من الإشارة أن اختيار عقدة ممر وسيطة موجهة في كل دورة تلعب دوراً رئيسياً في الحفاظ على استقرار الشبكة بينما البروتوكول المعتمد على درجة الحرارة لا تتغير العقدة حتى ترتفع درجة حرارتها وبالتالي تعاني العقد من ناحية الطاقة المتبقية. بينما أشار البروتوكول المقترح الجديد المعتمد على خوارزمية النمل أن الطاقة المصروفة لإيجاد المسار صغيرة جداً 0.002 joule وتكون الطاقة المتبقية للعقد متقاربة و متوازنة أي أنها تحافظ على زمن حياة شبكة عالي كما هو موضح في الجدول (3)
- قيمة ضياع المسار في البروتوكول البسيط بحدود 350 dB (NADEEM وزملائه، 2013) وأقل من بروتوكول ATTEMPT بينما تكون في البروتوكول المقترح أعلى بقليل 450 dB.

7. التوصيات:

- تم تصميم البروتوكول في طور إيجاد المسار الأقصر ويمكن التوسع بإجراء المحاكاة من أجل طور إرسال البيانات.
- يوجد عدة أنواع من البيانات الحيوية التي تتحسس لبارامترات جودة خدمة مختلفة، يمكن تنفيذ محاكاة بتجهيز أنواع من النمل يتوافق مع نوع البيانات المحسوسة من أجل إيجاد طرق مناسبة لبارامتر جودة الخدمة.
- تم دراسة سلوك النمل في بيئة جسم الانسان الواحد، يمكن توسيع المحاكاة لتشمل انتقال النمل بين أجسام المرضى Body Area Networks BANs وهي عقد المجمعات الموجودة على أجسام المرضى وبالتالي التعامل مع بيانات مرضى مشفى بدلاً من بيانات مريض واحد.
- يمكن دراسة بارامتر الإنتاجية Throughput في طور إرسال البيانات.

8. المراجع العلمية:

- [1]MOVASSAGHI,S. ; ABOLHASAN, M. ;LIPMAN, J.; Smith,D. and Jamalipour, A., " Wireless body area networks: a survey. "IEEE Commun Sur Tutor vol.16, no.3, pp.1658–1686, 2014.
- [2]CHEN,C. ; KNOLL,A. ; WICHMANN, HE.andHorsch , A., "A review of three–layer wireless body sensor network system in healthcare for continious monitoring," J Mod Internet Things, vol. 2, no.3, app.24–34,2013.
- [3]NEGRA,R. ; JEMILI, I. and BELGHITH,A. "wireless Body Area Networks: Application and technologies. " Journal of Elsevier B.V, Procedia Computer Science, vol83, pp.1274–1281,2016.
- [4]BHANUMATHI,V. and SANGEETH,C,P. "A Guide for the selection of routing protocol in WBAN for healthcare applications". Journal of Human–Centric Computing and Information Sciences, pp.2–24 ,2017.
- [5]KHUHRO.S.A ; HAIDER,Z and MEMON,K. "Adaptive routing protocol for wireless Body Area Networks with Heterogeneous Nodes." Journal of Network Communication and Emerging Technologies (JNCET), vol.8, no.1,2018.
- [6]NADEEM,Q. ; JAVAID,N. ; MOHAMMAD,S,N. ; KHAN, M,Y. ; SARFRAZ,S. ; GULL,M. "Simple : Stable Increased –throughput Multi–hop Protocol for Link Efficiency in Wireless Body Area Networks." arXiv:1307.7102 v1 ,2013.
- [7]DORIGO,M. ; BIRATTARI,M. and STUZLE,T., "Ant Colony Optimization, Artificial Ants as a Computational Intelligence Technique," IEEE Computational Intelligence Magazine, pp.140–147,2006.
- [8] LIANG,X. ; BALASINGHAM,I. and BYUN,S.S. "A Reinforcement Learning Based Routing Protocol with QoS Support for Biomedical Sensor Networks" , In Proceeding of 1st International Symposium on Applied Sciences on Biomedical and Communication Technologies, Aalborg, Denmark, pp. 1–5.2008.

- [9]Razzaqe, M.A. ; Hong, C.S and Lee,S. "Data-centric multiobjective QoS-aware routing protocol for body sensor networks" Sensors, vol.11,pp. 917-937,2011.
- [10]KHAN,Z. ; SIVAKUMAR, SH. ; PHILLIPS,W. ; ROBERTSON,B. and JAVID,N." QPDR: QoS-Aware Peering Routing Protocol for Delay-Sensitive Data in Hospital Body Area Network. "Journal of Mobile Information System, Article ID. 153232,2015.
- [11] BANUSELVARASWATHY,B. ; RATHINASABAPATHY,V. "Self-heat controlling energy efficient OPOT routing protocol for WBN." Journal of Wireless Netw. ,ID 10.1007/s11276-020-02303-5, 14-03-2020
- [12] PARK,S; KIM,T; LEE,J; "An Energy Enhanced Dual-Fuzzy Logic Routing Protocol for Monitoring Activities of the Elderly Using Body Sensor Networks". Journal of Electronics. 2020
- [13]DORIGO, M. ; STUTZLE,TH. "Ant Colony Optimization", a Bradford Book, The MIT press, Cambridge, Massachuettts Institute of Technology, London, England , 2004.
- [14]TAN,M. "Multi Agent Reinforcement Learning Independent vs. Cooperative Agents". Morgan Kaufmann Publishers, Inc.San Francisco, CA, USA. Pp.487-494,1998.
- [15]SANTOSA,B. ; Metaheuristic.M; DAN,k. ; WIDYA,G." Tutorial on Ant Colony Algorithm." Surabaya , Indonesia,2011.