

دراسة تأثير تحديد الموقع الأمثل لعقدة المجمع Sink على أداء شبكة منطقة الجسم اللاسلكية WBAN

د.م. ناجي إبراهيم محمد *

د. سمير طوفان **

م. رولا معين محمد ***

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٣/٥/٩ . قَبْلُ للنشر في ٢٠٢٣/٨/١٠)

□ ملخص □

تعد شبكات منطقة الجسم اللاسلكية WBAN أحد أهم حلول الرعاية الصحية عن بعد، وتمثل التقنية الأساسية للاتصالات اللاسلكية التي تتمحور حول جسم الإنسان. تتألف شبكات منطقة الجسم اللاسلكية WBAN من مجموعة من الحساسات التي تتوضع داخل أو على الجسم، تتحسس البيانات الفيزيولوجية المطلوبة ثم تقوم بإرسالها إلى عقدة المجمع (Sink). يعد التوجيه الدقيق بهدف إرسال البيانات بسرعة وبشكل صحيح أحد الجوانب الأساسية التي ينبغي أخذها بعين الاعتبار، ويتحقق ذلك من خلال اختيار بروتوكول التوجيه الملائم للتطبيق إضافةً إلى تحديد الموقع الأمثل لعقدة المجمع. سيتم في هذا البحث دراسة تغيير موقع عقدة المجمع وتأثير ذلك على كل من الإنتاجية، عمر الشبكة، الطاقة المتبقية، خسارة المسار والتأخير الزمني ومقارنتها مع بروتوكول SIMPLE. أظهرت النتائج تحسناً ملحوظاً في قيم الإنتاجية وعمر الشبكة والتأخير الزمني، بالإضافة إلى تحسين ضئيل في قيم الطاقة المتبقية وخسارة المسار. الكلمات المفتاحية: شبكات WBAN، بروتوكولات التوجيه، بروتوكول SIMPLE، المجمع (Sink).

* استاذ مساعد في قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات - كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات - جامعة طرطوس - سورية

** مدرس في كلية الطب البشري - جامعة طرطوس - سورية

*** طالبة ماجستير في قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات - كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات - جامعة طرطوس - سورية

Study the effect of optimizing the positioning of the Sink node on the performance of the wireless body area network (WBAN)

Dr. Naji Ibrahim Mohamad *

Dr. Sameer Tofan **

Eng. Roula Mouen Mohammad ***

(Received 9/5/2023 . Accepted 10/8/2023)

□ ABSTRACT

Wireless Body Area Networks (WBANs) are one of the most important telehealth solutions and represent the core technology for wireless communications centered around the human body. WBAN consists of a set of sensors that are placed inside or on the body, and sense the required physiological data and then send them to the Sink node. Precise routing in order to send data quickly and correctly is one of the essential aspects that should be taken into consideration, and this is achieved by selecting the appropriate routing protocol for the application as well as determining the optimal location of the sink. In this paper, we will study the change of sink location and its effect on throughput, network lifetime, residual energy, path loss and delay and compare it with SIMPLE protocol. The results showed a significant improvement in throughput, network lifetime, and delay values, in addition to a small improvement in residual energy and path loss values.

Keywords: WBANs, Routing Protocols, SIMPLE Protocol, Sink.

* Assistant Professor in the Department of Communications Technology Engineering - College of Information and Communication Technology Engineering - Tartous University – Syria.

** Lecturer at Faculty of Medicine - Tartous University - Syria

*** Master's student at the Department of Communications Technology Engineering - College of Information and Communications Technology Engineering - Tartous University - Syria

1. المقدمة:

تستخدم شبكات منطقة الجسم اللاسلكية (WBAN) Wireless Body Area Network في العديد من التطبيقات في مجالات مختلفة وأبرزها المجال الطبي والرعاية الصحية عن بعد. لكنها ومن جانب آخر تعد شبكات محدودة الموارد ويتمثل ذلك بنطاق الإرسال، طبيعة وسط الاتصال (جسم الإنسان)، عدد الحساسات، حجم البطاريات وسعتها، الأمر الذي سيؤثر على أداء الشبكة من حيث جودة الخدمة، الموثوقية، الأمن وعمر الشبكة وغيرها. إن جوهر نظام الشبكات اللاسلكية هو بروتوكول التوجيه إذ تلعب بروتوكولات التوجيه دوراً حيوياً في تأسيس اتصال فعال بين العقد وإطالة عمر شبكة WBAN وبالتالي تحسين أدائها. إن بروتوكول التوجيه عبارة عن آلية تحكم في بنية نظام الشبكة، يستخدم لاختيار المسار الأمثل عن طريق بعض الطرق المتاحة باستخدام قواعد وخوارزميات محددة [1].

2. أهمية البحث وأهدافه:

تتوزع الحساسات في شبكات WBAN على شكل طوبولوجيا نجمية تتصل لاسلكياً مع عقدة المجمع (Sink) التي تتمتع بقدرات حسابية أعلى وطاقة أكبر مقارنةً بعقد الحساسات. تعمل الحساسات باستخدام بطارية صغيرة الحجم، وتستهلك طاقة أثناء جمع البيانات وطاقة أكبر عند نقلها، الأمر الذي سيؤثر بدوره على عمر الشبكة وأدائها. من المهم جداً اختيار بروتوكول التوجيه المناسب الذي يحافظ على أداء الشبكة جيداً كما يلعب الموقع المناسب لعقدة المجمع دوراً مهماً في تحسين أداء البروتوكول نفسه. نهدف في هذا البحث إلى تحسين أداء بروتوكول التوجيه SIMPLE من خلال تغيير موقع عقدة المجمع عن طريق تحديد مواقع جديدة واختبار الأداء عند كل موقع بالنسبة لمجموعة من بارامترات تقييم الأداء ومقارنة النتائج مع الحالة الأساسية واختيار الموقع الذي يتحقق عنده الأداء الأعلى للبروتوكول وبالتالي لشبكة WBAN.

3. طرائق البحث ومواده:

اعتمد البحث على مراجعة الدراسات المتعلقة ببروتوكولات التوجيه المطبقة في شبكات WBANs بشكل عام، وبروتوكول التوجيه SIMPLE بشكل خاص من حيث توزع العقد وآلية عمله وبارامترات تقييم الأداء. تم استخدام برنامج MATLAB لإجراء المحاكاة وتنفيذ خوارزمية العمل وتحليل النتائج بالنسبة لمقاييس الأداء التالية: الإنتاجية، عمر الشبكة، خسارة المسار، التأخير الزمني والطاقة المتبقية لمقارنتها مع النتائج في بروتوكول SIMPLE.

4. مقدمة نظرية:

1.4. الدراسات المرجعية:

اعتمد البحث على عدد من الدراسات، نلخصها كما يلي:

قدم الباحثون في [2] عرضاً مفصلاً لأنواع بروتوكولات التوجيه في WBAN والقضايا المتعلقة بها. كما عرض الباحثون في [3] تحليلاً لتقنيات التوجيه الحالية المطبقة في WBAN، بالإضافة إلى مقارنة أداء بروتوكولات التوجيه الحالية بالنسبة لعدد من مقاييس الأداء. وفيما يلي الأبحاث التي احتوت بنية الشبكة فيها على عقدة مجمع واحدة وعقدة معيد توجيه (Forwarder):

في [4] قدم المؤلفون المخطط Opportunistic لزيادة عمر الشبكة، ووفقاً لهذا المخطط يتم وضع عقدة sink في المعصم. وبناءً على الدراسة [4] بنيت الدراسة [5] وفيها قدم الباحثون بروتوكول توجيه موثوق متعدد القفزات موفر للطاقة

وعالي الإنتاجية لشبكات منطقة الجسم اللاسلكية WBAN، وتم تغيير موقع عقدة المجمع من المعصم لتصبح على الخصر بهدف تحسين الأداء. يتم اختيار عقدة معيد التوجيه أو الأب (Parent node) عن طريق تابع هدف بحيث تحتوي هذه العقدة أعلى طاقة متبقية وأصغر مسافة إلى عقدة Sink. تساعد فترة الاستقرار الجيدة التي يحققها البروتوكول Stable Increased-throughput Multi-hop Protocol for Link Efficiency in Wireless Body Area Networks (SIMPLE) في بقاء العقد على قيد الحياة لفترة أطول وزيادة نسبة تسليم الرزم. لكن البروتوكول المقترح لا يدعم الحركة (Mobility)، الأمر الذي تم العمل على تحسينه في البروتوكول iM-SIMPLE [6] حيث افترض العمل بوضعيتي حركة للجسم.

وفي حالة استخدام عقدي مجمع وعقدة معيد توجيهه: اقترح الباحثون في [7] المخطط AnyCasting In Dual Sinks (ACIDS) لتحسين فترة الاستقرار والإنتاجية وتقليل End-to-End Delay. يعتمد المخطط استخدام عقدي مجمع وعقدة معيد توجيهه واحدة. يتم تثبيت عقدي المجمع في الجانبين اليمين واليسار للحوض. ترسل العقد التي تقع في مجال كل مجمع مباشرة إليها بينما ترسل بقية العقد إلى عقدة معيد التوجيه التي يتم اختيارها اعتماداً على الطاقة المتبقية وقوة الإشارة المستقبلية RSSI. لكن وبالرغم من استخدام عقدة معيد توجيهه لم يتم تحسين بارامتر استهلاك الطاقة. أما في [8] تم اقتراح البروتوكول Dual Sinks use Clustering in Body Area Network (DSCB) لتحسين فترة استقرار وحياة الشبكة. يتم اختيار عقدة معيد توجيهه من خلال تابع هدف وبالاعتماد على الطاقة المتبقية، طاقة إرسال العقدة والمسافة إلى المجمع. ترسل البيانات الحرجة إلى المجمع مباشرة وبخلاف ذلك إلى عقدة معيد توجيهه.

أما في حالة استخدام عقدي معيد توجيهه وعقدة مجمع: في [9] تم اقتراح التقنية Dual Forwarder Selection Technique (DFST) والتي تعتمد استخدام عقدة مجمع وعقدي معيد توجيهه. يتم اختيار عقدي معيد توجيهه عن طريق تابع هدف بشكل منفصل وخاص بكل مجموعة عقد على حدى. تعمل التقنية المقترحة على إطالة عمر الشبكة وتقليل استهلاك الطاقة وتحسين فترة استقرار وإنتاجية الشبكة، وبشكل أفضل مقارنةً بـ iM-SIMPLE. من الجدير بالذكر أن بحثنا هذا مبني على أساس الدراسة [5] ومقارنة نتائجنا بالنتائج الموجودة فيها لتقييم الأداء. نستنتج من الدراسات المرجعية السابقة النقاط التالية:

• يختلف الأداء العام لشبكة WBAN باختلاف موقع عقدة المجمع كما في [4] و [5]، فقد لاحظنا تحسناً في الأداء عند تغيير واختيار الموقع المناسب.

• يختلف الأداء العام لشبكة WBAN باختلاف عدد عقد المجمع في الشبكة، كما في [7] و [8] حيث تم استخدام عقدي مجمع وعقدة معيد توجيهه واحدة لتحسين فترة استقرار وحياة الشبكة، لكن ومن جانب آخر لم يتحسن بارامتر استهلاك الطاقة.

• يختلف الأداء العام لشبكة WBAN باختلاف عدد عقد معيد التوجيه في الشبكة، كما في [9] حيث تم استخدام عقدي معيد توجيهه وعقدة مجمع واحدة بهدف زيادة عمر الشبكة وتحسين الإنتاجية، لكن وبسبب زيادة عمليات المعالجة في العقد سيزيد استهلاك الطاقة

بناءً على هذه النقاط وبهدف تحسين أداء شبكة WBAN سنقوم في هذا البحث على بتغيير موقع عقدة المجمع وقياس الأداء عند كل موقع يتم اختياره بالاعتماد على الدراسة [5] لمقارنة النتائج.

2.4. بروتوكولات التوجيه المطبقة في WBAN:

- يمكن تصنيف بروتوكولات التوجيه بعدة طرق، ووفقاً للدراسة [2] تقسم بروتوكولات التوجيه إلى سبع فئات:
1. Cluster-Based Routing Protocols: تقسم الشبكة إلى مجموعات (Clusters)، تتألف كل مجموعة من عدد من العقد ورأس (Cluster Head) مسؤول عن جمع البيانات من الحساسات في نفس المجموعة وإعادة توجيهها إلى المحطة الأساسية (Base station). يهدف هذا النوع من البروتوكولات بشكل رئيس لتقليل الاتصال المباشر بين عقد الحساس وعقدة المجمع.
 2. Energy-Efficient Routing Protocols: يركز هذا النوع من البروتوكولات على تقليل مستوى درجة حرارة عقد الحساسات في الشبكة خلال فترة نقل البيانات. ويعتمد على العديد من العوامل مثل درجة الحرارة والوصلة (Link) ومصفوفات التوجيه (Routing Matrices) والحركية وما إلى ذلك. ويندرج البروتوكول SIMPLE المدروس ضمن هذه الفئة من البروتوكولات.
 3. Cross Layered Based Routing Protocols: تركز على التحديات بين طبقة الشبكة وبقية الطبقات. تتميز هذه البروتوكولات باستهلاك منخفض للطاقة، وتأخير زمني (End-to-End Delay) ثابت وإنتاجية عالية. لكنها لا توفر أداءً عالياً في بعض الحالات ذات الخسارة الكبيرة في المسار وحركة الجسم [10].
 4. QoS Based Routing Protocols: تعتمد هذه البروتوكولات على جودة الخدمة وتهدف إلى توفير موثوقية أعلى، نسبة تسليم رزم أعلى وتأخير زمني (End-to-End Delay) منخفض.
 5. Postural Movement-Based Routing Protocols: تركز هذه البروتوكولات على موقع عقد الحساسات وبالتالي تعمل على تغيير المسافة بين العقد و المجمع. يؤخذ نشاط العقد بعين الاعتبار وبالتالي سيزداد استهلاك الطاقة بشكل كبير ويقل عمر الشبكة.
 6. Cost-Effective Routing Protocols: تقوم هذه البروتوكولات بتحديث ميزة الكلفة (Cost Feature) وفقاً لمقاييس مناسبة وبالتالي يتم اختيار المسار الأفضل ذو الكلفة الأقل.
 7. The Secure Routing Protocols: تركز هذه البروتوكولات على أمن وسلامة البيانات خلال عملية إرسال البيانات وفي قاعدة البيانات أيضاً.

5. النتائج والمناقشة:

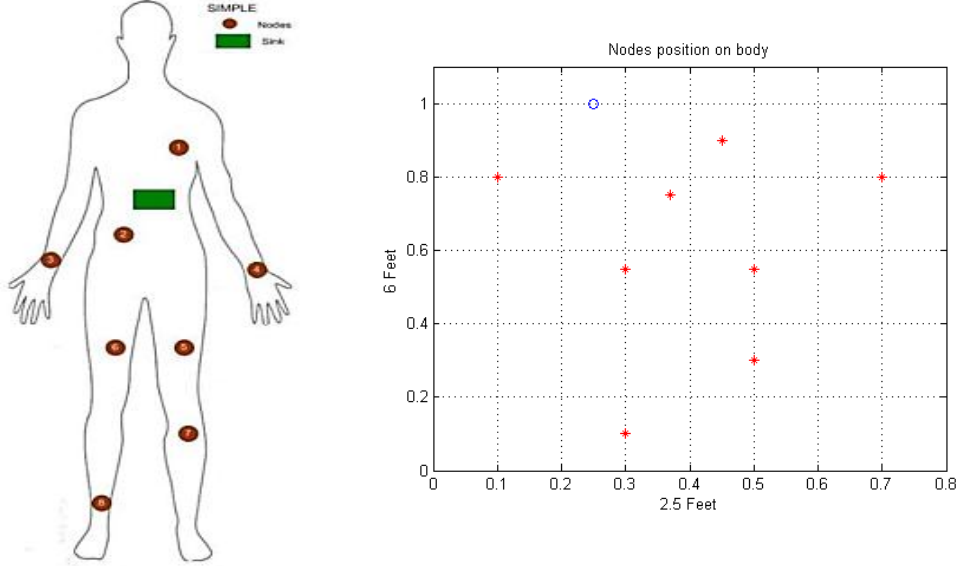
تمت دراسة الشبكة وتصميم البروتوكول كما هو موضح في الشكل (1)، تتألف الشبكة المدروسة من 8 عقد حساسات على الجسم وتتمتع جميعها بقدرات متساوية في استهلاك الطاقة والمعالجة بالإضافة إلى عقدة المجمع. ترسل كل من عقدي تخطيط القلب ECG وسكر الدم بياناتها مباشرة إلى المجمع بفقرة واحدة. يتم انتخاب عقدة أب من العقد الست المتبقية والتي تعمل كعقدة معيد توجيه تُرسل عبرها بيانات العقد إلى المجمع (قفزتين) في كل دورة زمنية بالاعتماد على تقنية Time Division Multiple Access (TDMA). يحسب المجمع تابع هدف لجميع العقد، ويتم اختيار العقدة التي تمتلك أصغر قيمة لتابع الهدف كعقدة معيد توجيه بحيث تتضمن أقصى طاقة متبقية وأقل مسافة إلى المجمع. يحسب تابع الهدف بالاعتماد على العلاقة (1) [5]:

$$C. F(i) = \frac{d(i)}{R. E(i)} \quad (1)$$

حيث: R.E_i الطاقة المتبقية للعقدة i، و d_i: المسافة بين العقدة i والمجمع، وتحسب وفقاً للعلاقة (2):

$$d_i = \sqrt{(x_i - x_{sink})^2 + (y_i - y_{sink})^2} \quad (2)$$

في الدراسة [5] تم وضع عقدة المجمع كما ذكرنا عند الخصر عند الإحداثيات (X:0.25,Y:1) ، لذا سنقوم في دراستنا هذه بتغيير هذا الموقع بهدف الحصول على أداء أفضل. باعتبار أبعاد الشبكة $0.8m \times 1.6m$ هي أبعاد جسم الإنسان، تم تحديد مواقع العقد وفقاً للإحداثيات المبينة في الجدول (1) والشكل (2):



الشكل (1): يمثل بنية WBAN

الشكل (2): يمثل موقع العقد في الشبكة

الجدول (1): يمثل إحداثيات توزيع العقد

اسم العقدة	Y	X	رقم العقدة
الكاحل	0.1	0.3	1
الركبة	0.3	0.5	2
الفخذ الأيسر (حمض اللبن)	0.55	0.3	3
الفخذ الأيمن (الحرارة)	0.55	0.5	4
الكف الأيسر	0.8	0.7	5
الكف الأيمن	0.8	0.1	6
سكر الدم	0.75	0.37	7
مخطط كهربية القلب ECG	0.9	0.45	8

تم الاعتماد كذلك على الفرضيات المستخدمة في الدراسة [5]، كما يلي:

الجدول (3): عوامل الطاقة

Nordic nRF 2401A	
E_{TX}	16.7 nJ/bits
E_{RX}	36.1 nJ/bits
E_{amp}	1.97 nJ/bits
E_{DA}	5 nJ/bits

الجدول (2): المدخلات

البارامتر	القيمة
حجم الرزم	4000 bits
التردد f	2.4 GHz
طول الموجة λ	0.125 m
المسافة المرجعية d_0	0.1 m
الطاقة الأولية E_0	0.5 J

موقع (إحداثيات) مختلف لعقدة المجمع، ولاحظنا تشابه النتائج عند بعض 14 اقترحنا في هذه الدراسة (، بحيث تكون النتائج 14 الإحداثيات، لذا قمنا بتجميع الإحداثيات المتشابهة في ست حالات موضحة في الجدول) متطابقة عند كل الإحداثيات ضمن الحالة الواحدة.

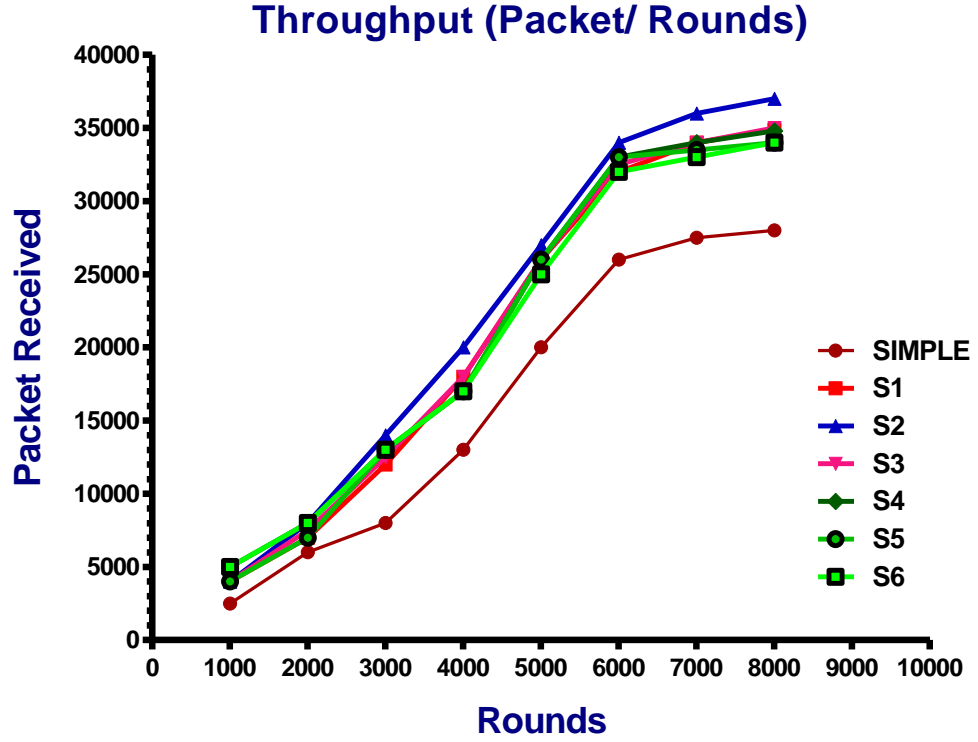
الجدول (4): يمثل المواقع المدروسة لعقدة المجمع

S1	(0.49,0.7), (0.5,0.7)
S2	(0.4,0.7)
S3	(0.45,0.5), (0.35,0.9), (0.5,0.7)
S4	(0.45,0.8), (0.39,0.86)
S5	(0.37,0.8), (0.4,0.9), (0.38,0.83)
S6	(0.4,0.85), (0.42,0.82), (0.41,0.81)

ومن أجل 10000 دورة عمل، وعدد مرات تنفيذ يساوي 5 لاحظنا ثبات القيم بعد 10000 دورة وخمس مرات تنفيذ، تم دراسة وتقييم الأداء بالنسبة لكل من البارامترات نفسها في [5] : الإنتاجية، خسارة المسار، عمر الشبكة، الطاقة المتبقية بالإضافة إلى التأخير الزمني الذي لم تتم دراسته، لذا قمنا بقياسه أولاً عند الإحداثيات (0.25,1) بالإضافة إلى الحالات الست الموضحة في الجدول (4) ، ثم قارنا كل من البارامترات الخمسة مع القيم الأساسية في بروتوكول SIMPLE [5].

1.5 الإنتاجية Throughput:

تعرف الإنتاجية بأنها متوسط عدد الرزم التي يتم استلامها بنجاح في عقدة المجمع خلال دورات العمل. وبالتالي كلما زادت قيم الإنتاجية كلما تحقق أداء أعلى. بتحليل النتائج الموضحة في الشكل (3) والقيم العددية في الجدول (5) نجد أن جميع قيم الإنتاجية الناتجة عن تغيير موقع عقدة المجمع تحقق إنتاجية أعلى منها عند الموقع الأصلي لعقدة المجمع. وبالمقارنة أيضاً بين القيم الناتجة عن الحالات المدروسة عند الدورة 8000 نجد أن الحالة S2 تحقق أعلى إنتاجية تليها S3 ، بينما وبالنسبة لجميع دورات العمل نجد أن الحالة S2 تحقق أعلى إنتاجية تليها S4.



الشكل (3): يمثل الإنتاجية الناتجة للحالات المدروسة

يوضح الجدول (5) القيم العددية للإنتاجية عند كل دورة عمل بالإضافة إلى قيم الإنتاجية في [5]:

الجدول (5): يمثل القيم العددية للإنتاجية									
Rounds	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	
SIMPLE	2.5	6	8	13	20	26	27.5	28	*1000
S1	4	7	12	18	26	32	34	34.9	*1000
S2	4	8	14	20	27	34	36	37	*1000
S3	4	7.5	12.5	18	26	32.5	34	35	*1000
S4	5	8	13	17	26	33	34	34.8	*1000
S5	4	7	13	17	26	33	33.5	34	*1000
S6	5	8	13	17	25	32	33	34	*1000

2.5. خسارة المسار Path loss:

تعرف خسارة المسار بأنها الفرق بين القدرة المرسله لعقدة الإرسال والقدرة المستقبله عند عقدة الاستقبال وتقاس بالديسيبل (dB). تؤثر الوضعيات المختلفة وحركة جسم الإنسان واليدين والملابس (التي تشكل عائقاً لمرور الإشارة) على الإشارة المرسله. ترتبط خسارة المسار بالمسافة والتردد المُعبر عنها في العلاقة (3) [11]:

$$PL(f, d) = PL(f) \times PL(d) \quad (3)$$

تمثل $PL(f)$ خسارة المسار المرتبطة بالتردد ويعبر عنها بالعلاقة (4) ، بحيث أن k هو عامل يعتمد على التردد ويتعلق بهندسة الجسم:

$$\sqrt{PL(f)} \propto f^k \quad (4)$$

وتمثل $PL(d)$ خسارة المسار المرتبطة بالمسافة ويعبر عنها بالعلاقة (5):

$$PL(f, d) = PLo + 10n \log_{10} \frac{d}{do} + X\sigma \quad (5)$$

حيث:

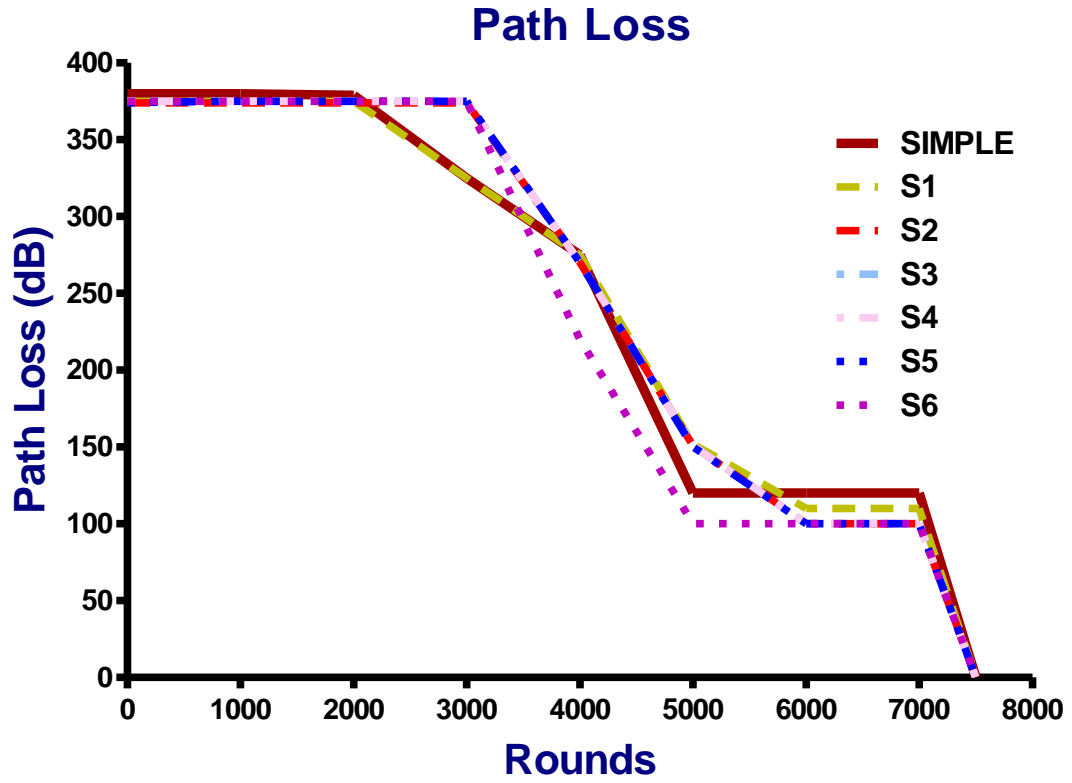
PLo : القدرة المستقبلية، d : المسافة بين المرسل والمستقبل، do : المسافة المرجعية، n : معامل خسارة المسار تتوقف قيمته على بيئة الانتشار، وتساوي 2 في الفراغ الحر، في WBAN تتراوح قيمة n من 3 إلى 4 لاتصالات (LOS)، و 5-7.4 للاتصالات (NLOS). $X\sigma$: الانحراف المعياري وهو عبارة عن متغير عشوائي غاوسي. تعطى PLo عند مسافة مرجعية بالعلاقة (6):

$$PLo = 10 \log_{10} \frac{(4\pi \times d \times f)^2}{c} \quad (6)$$

حيث: f : التردد، c سرعة الضوء، d المسافة بين المرسل والمستقبل.

الجدول (6): يمثل القيم العددية لخسارة المسار

Rounds	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	7500
SIMPLE	380	380	379	325	275	120	120	120	0
S1	375	375	375	325	275	152	110	110	0
S2	374	374	374	374	270	151	100	100	0
S3	375	375	375	375	270	151	100	100	0
S4	375	375	375	375	270	151	100	100	0
S5	374	375	375	375	270	150	100	100	0
S6	375	375	375	375	220	100	100	100	0



الشكل (4): يمثل خسارة المسار الناتجة للحالات المدروسة

إن قيمة خسارة المسار يجب أن تكون أصغر ما يمكن. بتحليل النتائج في الشكل (4) والقيم العددية في الجدول (6) نلاحظ أن تغيير موقع المجمع وفقاً للمواقع المدروسة يساعد على التخفيف من خسارة المسار إلى حد ما بالمقارنة مع قيمة خسارة المسار عند الموقع الأصلي للمجمع، وأن جميع هذه القيم متقاربة (لكنها أفضل على أية حال من القيمة الأساسية)، وبالمقارنة بينها نجد أن S2 الأقل خسارةً في المسار تليها S6 وذلك بالنسبة لجميع دورات العمل.

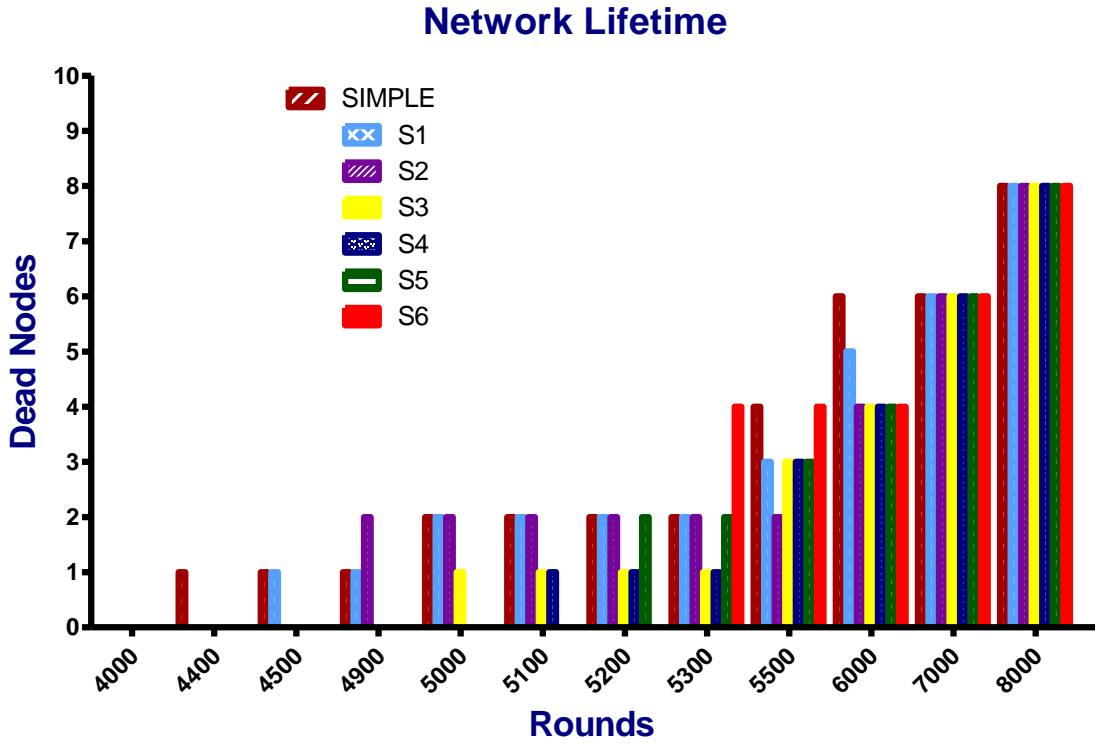
3.5. عمر الشبكة Lifetime:

يحدد عمر الشبكة بعدد العقد الميتة، ويعرف على أنه إجمالي وقت عمل الشبكة حتى تتوقف آخر عقدة فيها عن العمل؛ كما ويساعد معرفة عدد العقد الميتة في تحديد بارامتر فترة استقرار الشبكة. وتعرف فترة استقرار الشبكة على أنها الفترة الزمنية لتشغيل الشبكة حتى تتوقف العقدة الأولى عن العمل، بينما تسمى الفترة الزمنية بعد توقف العقدة الأولى بالفترة الغير مستقرة.

الجدول (7): يمثل زمن موت أول عقدة عند كل حالة

Name	SIMPLE	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Round	4400	4500	4900	5000	5100	5200	5300
Num of nodes	1	1	2	1	1	2	4

أظهرت النتائج أنه يختلف زمن بدء موت العقد بين الحالات المدروسة، على سبيل المثال في الحالة S1 تموت أول عقدة عند الدورة 4500 بينما يتأخر موت أول عقدة في الحالة S6 حتى الدورة 5300، وباقي الحالات موضحة في الجدول (7).



الشكل (5): يمثل عمر الشبكة للحالات المدروسة كتابع لعدد الدورات

الجدول (8): يمثل عدد العقد الميتة في كل دورة عمل

Rounds	4000	5000	5500	6000	7000	8000
SIMPLE	0	2	4	6	6	8
S1	0	2	3	5	6	8
S2	0	2	2	4	6	8
S3	0	1	3	4	6	8
S4	0	0	3	4	6	8
S5	0	0	3	4	6	8
S6	0	0	4	4	6	8

نلاحظ أن تغيير موقع عقدة المجمع وفقاً للمواقع المقدمة في هذه الدراسة قدم تحسناً في عمر الشبكة، كما هو واضح في الشكل (5) والجدول (8). حققت القيم المفروضة في الدراسة تحسناً أولياً من حيث زمن موت أول عقدة، بعد أن كان عند الدورة 4400، وتعد S6 الأفضل من هذا الجانب حيث تموت أول عقدة عند الدورة 5300. لكن تعد S4 الأفضل كون عدد العقد الميئة يساوي الواحد على الرغم من أن الحالتين S5 و S6 أفضل من حيث تأخر موت أول عقدة ولكنها تخسر عدد عقد أكبر عند البدء.

4.5. الطاقة المتبقية Residual Energy:

إن الطاقة المتبقية عبارة عن الفرق بين الطاقة المستهلكة للعقدة وإجمالي الطاقة الأولية. توجد العديد من النماذج الرياضية لاستهلاك الطاقة، وفيما يلي النموذج المذكور في [5] بحيث تمثل العلاقة (7) الطاقة المرسله والعلاقة (8) الطاقة المستقبلية:

$$E_{TX}(k, d) = E_{TX-elec}(k) + E_{TX-amp}(k, d)$$

$$E_{TX}(k, d) = E_{TX-elec} \times k \times E_{amp} \times d^2 \quad (7)$$

$$E_{RX}(k) = E_{RX-elec}(k) E_{RX}(k) = E_{RX-elec} \times k$$

$$E_{RX}(k) = E_{RX-elec} \times k \quad (8)$$

حيث:

E_{TX} : الطاقة المستهلكة في الإرسال، E_{RX} : الطاقة التي يستهلكها جهاز الاستقبال، $E_{TX-elec}$ و $E_{RX-elec}$: الطاقات المطلوبة لتشغيل الدارة الإلكترونية لجهاز الإرسال والاستقبال، على التوالي، E_{amp} : الطاقة اللازمة لدارة مكبر الصوت، k : حجم الرزمة. نضيف معامل خسارة المسار n في النموذج الرياضي. وبالتالي توول المعادلة (8) لجهاز الإرسال إلى العلاقة (9):

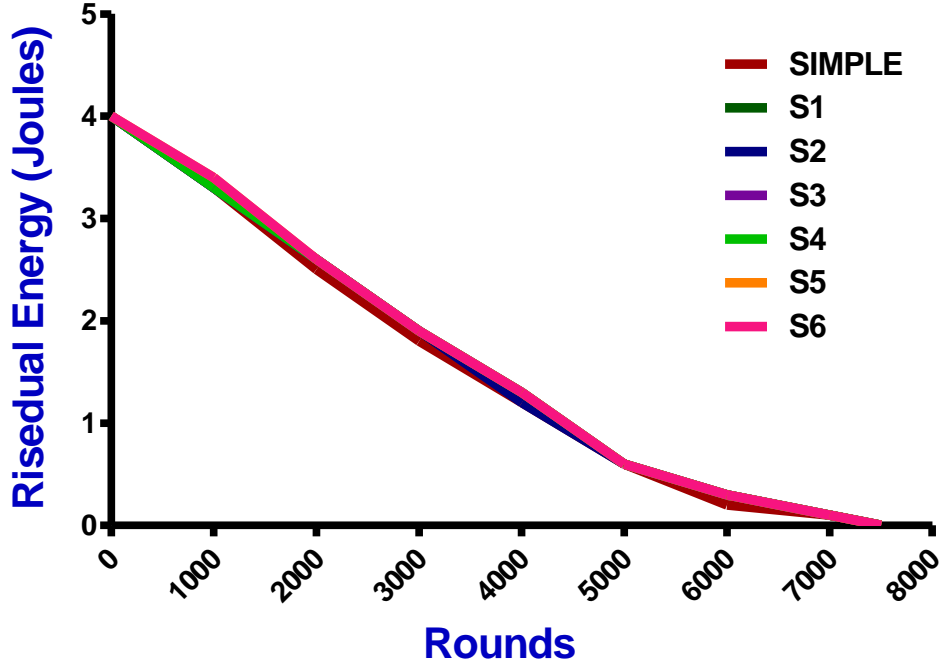
$$E_{TX}(k, d) = E_{elec} \times k + E_{amp} \times k \times d^n \quad (9)$$

تعتمد قيم البارامترات الموجودة في المعادلة (9) على نوع التجهيزات. يوضح كلاً من الجدول (8) والشكل (5) تأثير تغيير موقع عقدة المجمع على الطاقة المتبقية في العقد.

الجدول (9): يمثل قيم الطاقة المتبقية Joules

Rounds	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	7500
SIMPLE	4	3.3	2.5	1.8	1.2	0.6	0.2	0.1	0
S1	4	3.3	2.6	1.9	1.3	0.6	0.3	0.1	0
S2	4	3.3	2.6	1.9	1.3	0.6	0.3	0.1	0
S3	4	3.3	2.6	1.9	1.3	0.6	0.3	0.1	0
S4	4	3.3	2.6	1.9	1.3	0.6	0.3	0.1	0
S5	4	3.4	2.6	1.9	1.3	0.6	0.3	0.1	0
S6	4	3.4	2.6	1.9	1.3	0.6	0.3	0.1	0

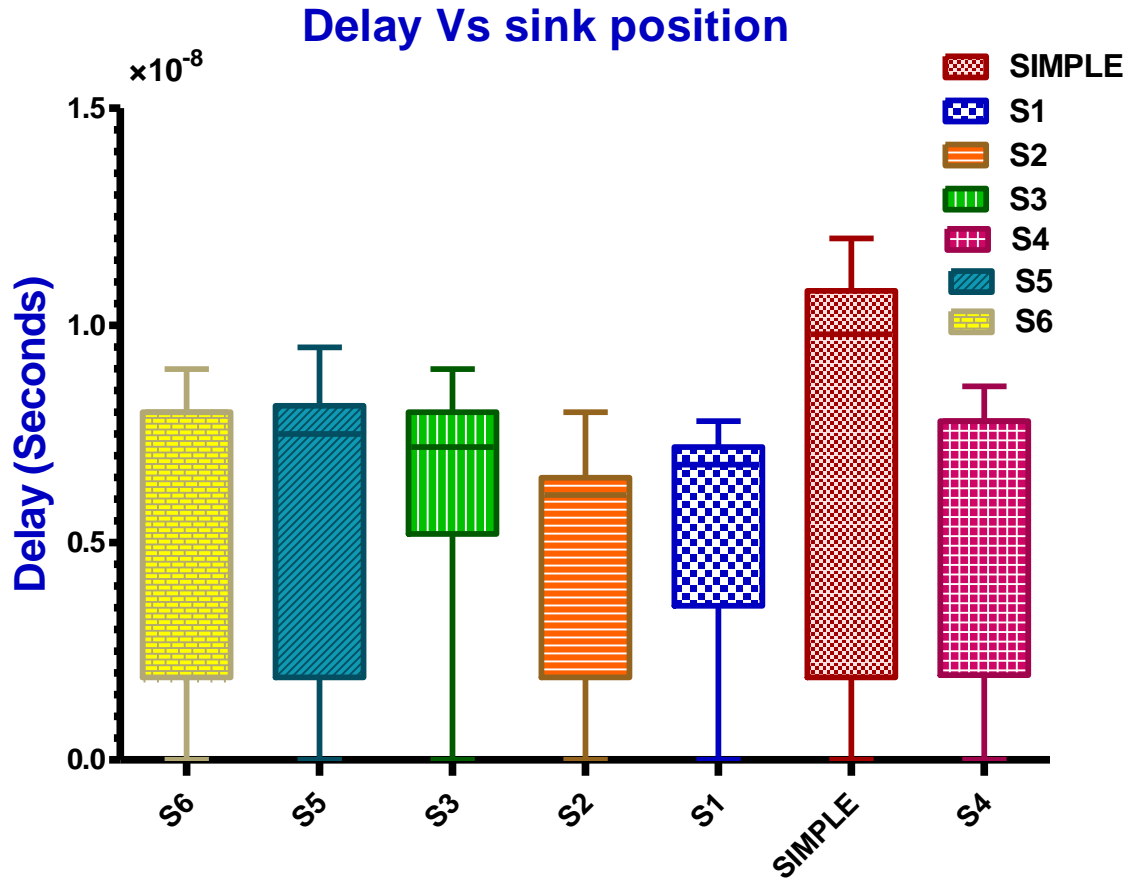
Risedual Energy



الشكل (6): يمثل الطاقة المتبقية للحالات المدروسة

تبين النتائج أن قيمة الطاقة المتبقية في جميع الحالات متساوية وتساوي 4 Joules عند الحالة البدائية كما كانت عليه في الحالة الأساسية قبل تغيير موقع المجمع، وهذا واضح من انطباق المنحنيات في الشكل (6)، لكن وكما هو موضح في الجدول (9) أنه في جميع الحالات المدروسة تكون قيمة الطاقة المتبقية عند دورات العمل 2000,3000,4000,6000 أكبر بـ 0.1 و في الحالتين S5,S6 عند دورة العمل 1000 قيمة الطاقة المتبقية أكبر من حالة SIMPLE بقيمة 0.1. نستنتج أن القيم متقاربة بشكل كبير لكن الحالات المدروسة أفضل بفارق بسيط، والنتيجة منطقية طالما أن جميع العقد وفقاً للفرض تتمتع بقدرات متساوية في الطاقة والحساب؛ الطاقة الأولية للعقد 0.5J، كما أن قيم البارامترات الموجودة في المعادلة (9) المحددة لمقدار استهلاك الطاقة تعتمد على نوع التجهيزات، وقد تم استخدام الشريحة Nordic nRF 2401A بالموصفات المذكورة في الجدول (3) نفسها لجميع العقد وبالتالي سنبقى قيمة الطاقة المستهلكة نفسها تقريباً، إضافة إلى الحفاظ على آلية عمل البروتوكول نفسها. وبالتالي فإن تأثير تغيير موقع عقدة المجمع لا يغير من قيمة الطاقة المتبقية.

5.5. التأخير الزمني Delay:



الشكل (7): يمثل التأخير الزمني للحالات المدروسة

الجدول (9): يمثل قيم التأخير الزمني Seconds

Rounds	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	7500	
SIMPLE	1.08	1.08	0.98	0.98	0.98	1.2	0.19	0.19	0	$\times 10^{-8}s$
S1	0.64	0.72	0.72	0.78	0.68	0.7	0.59	0.12	0	$\times 10^{-8}s$
S2	0.61	0.61	0.65	0.65	0.65	0.8	0.29	0.09	0	$\times 10^{-8}s$
S3	0.59	0.72	0.72	0.72	0.8	0.9	0.45	0.8	0	$\times 10^{-8}s$
S4	0.78	0.78	0.78	0.78	0.75	0.86	0.31	0.08	0	$\times 10^{-8}s$
S5	0.59	0.75	0.75	0.75	0.88	0.95	0.29	0.09	0	$\times 10^{-8}s$
S6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.52	0.9	0.3	0.08	0	$\times 10^{-8}s$

يمثل التأخير الزمني مجموع كلاً من تأخير الانتشار والتأخير الناتج عن آلية عمل البروتوكول. كلما كانت قيمة التأخير الزمني صغيرة كلما تحقق أداءً أفضل خاصة في التطبيقات التي تتطلب موثوقية عالية وفي حالات الطوارئ أو الحالات الحرجة. قمنا في بحثنا هذا بقياس التأخير الزمني الناتج عن عمل بروتوكول SIMPLE وفقاً للمعطيات في [5] من حيث موقع المجمع بالإضافة إلى الحالات الست في الجدول (4). أظهرت النتائج أن تغيير موقع المجمع وفقاً للحالات المدروسة ساعد على التقليل من التأخير الزمني بالمقارنة مع حالة بروتوكول SIMPLE والتي كانت مرتفعة كما هو موضح في الشكل (7) والجدول (9). وبالمقارنة أيضاً بين القيم المدروسة نجد أن الحالة S3 تحقق تأخيراً أقل تليها الحالتي S5 ثم S1 وذلك بالنسبة لكل دورات العمل.

6. الاستنتاجات والتوصيات:

قدمنا في هذا البحث دراسة لتأثير تغيير موقع عقدة المجمع في بيئة عمل بروتوكول التوجيه SIMPLE، وتوصلنا إلى مجموعة من الاستنتاجات نلخصها وفقاً للنقاط الآتية:

1. إن تغيير موقع المجمع وفقاً للإحداثيات المدروسة ساعد على زيادة عدد الرزم المستقبلية وبالتالي تحسنت قيمة الإنتاجية بنسبة: 46.13% عند S1، 61.25% عند S2، 48.13% عند S3، 49.75% عند S4، 45.63% عند S5 و 45% عند S6.

2. ساعد تغيير موقع المجمع وفقاً للإحداثيات المدروسة على التخفيف من خسارة المسار إلى حد ما وذلك وفقاً للنسب: 0.002% عند S1، 0.020% عند S2، 0.025% عند S3، 0.025% عند S4، 0.022% عند S5 و 0.088% عند S6.

3. ساهم تغيير موقع المجمع وفقاً للإحداثيات المدروسة في زيادة عمر الشبكة وبالتالي زيادة فترة استقرار الشبكة، حيث لاحظنا انخفاضاً في العدد الكلي للعقد الميئة خلال فترة تشغيل الشبكة بعد أن كان 35 عقدة في حالة SIMPLE، أصبح 32 عند S1، 30 عند S2، 25 عند S3، 24 عند S4، 25 عند S5 و 26 عند S6.

4. إن قيم الطاقة المتبقية في جميع الحالات المدروسة متقاربة إلى حد كبير مع الحالة SIMPLE، لكنها ومن خلال الجدول (8) أكبر بـ 0.1 عند بعض دورات العمل لمعظم الحالات كما ذكرنا سابقاً.

5. قمنا بحساب قيمة التأخير الزمني للحالة SIMPLE بالإضافة إلى الحالات المدروسة، ووجدنا أن قيمة التأخير الزمني في جميع الحالات الست أفضل وأقل بكثير بالنسبة للحالة SIMPLE، وذلك بنسبة 0.0019% عند S1، 0.0025% عند S2، 0.001% عند S3، 0.0017% عند S4، 0.0018% عند S5 و 0.0018% عند S6.

6. بالمقارنة بين الحالات المدروسة تحقق S2 أعلى إنتاجية، S6 الأقل خسارةً في المسار، S4 أطول عمر للشبكة، S5 و S6 الأفضل من حيث الطاقة المتبقية، أما التأخير الزمني الأقل عند S3. وبالتالي يعتمد اختيار الموقع الأنسب للمجمع من بين هذه الحالات المدروسة على نوع التطبيق الذي يتم استخدام WBAN من أجله.

7. المراجع:

- [1] S. Movassaghi, M. Abolhasan, J. Lipman, D. Smith, and A. Jamalipour, "Wireless body area networks: A survey," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 16, no.3, pp. 1658-1686, 2014.
- [2] Shunmugapriya B, Paramasivan B, Ananthakumaran S et al. "Wireless Body Area Networks: Survey of recent research trends on energy efficient routing protocols and guidelines", 22 July 2021, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-385025/v1>.
- [3] Reema Goyal, Nitin Mittal, Lipika Gupta, Amit Surana, "Routing Protocols in Wireless Body Area Networks: Architecture, Challenges, and Classification", Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 2023, Article ID 9229297, 19 pages, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/9229297>.
- [4] Maskooki, A., Soh, C. B., Gunawan, E., & Low, K. S. (2011). Opportunistic routing for body area network. 2011 IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC). [doi:10.1109/ccnc.2011.5766463](https://doi.org/10.1109/ccnc.2011.5766463)
- [5] Q. Nadeem et al. (2013). "SIMPLE: Stable Increased-throughput Multi-hop Protocol for Link Efficiency in Wireless Body Area Networks". IEEE International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA'13).
- [6] Javaid N, Ahmad A, Nadeem Q, Imran M, Haider N (2015) "iM SIMPLE: improved stable increased-throughput multi-hop link efficient routing protocol for wireless body area networks". Comput Hum Behav 51:1003–1011.
- [7] Baig MR, Ullah N, Hadi F, Ahmed S, Hanan A, Ahmed I (2017) Anycasting in dual sink approach (acids) for wbasns. Int J Adv Comput Sci Appl 8(3):257–263
- [8] Ullah Z, Ahmed I, Razzaq K, Naseer MK, Ahmed N (2019) Dscb: Dual sink approach using clustering in body area network. Peer-to-Peer Netw Appl 12(2):357–370.
- [9] Rahman, H. U., Ghani, A., Khan, I., Ahmad, N., Vimal, S., & Bilal, M. (2021). Improving network efficiency in wireless body area networks using dual forwarder selection technique. Personal and Ubiquitous Computing. [doi:10.1007/s00779-021-01539-y](https://doi.org/10.1007/s00779-021-01539-y).
- [10] Abbasi, Umer Fiaz, Azlan Awang, and Nor Hisham Hamid. "A crosslayer opportunistic mac/routing protocol to improve reliability in wban." In Communications (APCC), 2014 Asia-Pacific Conference on, pp. 36-41. IEEE, 2014.
- [11] N. Javaid, N. A. Khan, M. Shakir, M. A. Khan, S. H. Bouk, Z. A. Khan, "Ubiquitous HealthCare in Wireless Body Area Networks-A Survey", J. Basic Appl. Sci. Res. 2013 3(4): 747-759.