

# تخفيف التداخل بين شبكات Wireless Body Area Network (WBAN) بالاعتماد على تقنيات IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6 متعدد القنوات

\* الدكتور ناجي ابراهيم محمد

\*\* لجين محمد موسى

## الملخص

يعد التطبيق الأكثر شيوعاً لشبكات حساسات الجسم اللاسلكية (WBAN) في مجال الرعاية الصحية. عندما يتواجد مجموعة من الأشخاص يحملون شبكة WBAN داخل منطقة مثل المستشفى، يمكن أن تتداخل الإشارات اللاسلكية المرسله مع بعضها البعض، مما يؤدي إلى تدهور الإنتاجية بالإضافة إلى فقدان الإشارة بسبب حركة جسم الإنسان. لذلك، من الأهمية بمكان تخفيف التداخل بين شبكات WBANs من أجل الحفاظ على موثوقية النظام. تم اقتراح استخدام البروتوكول IEEE802.15.6 متعدد القنوات والذي يسمح بالإرسال المتعدد للبيانات في وقت واحد عبر قنوات مختلفة، بالإضافة إلى اقتراح خوارزمية لتخفيف التداخل بين شبكات WBANs. تم إجراء المحاكاة باستخدام البيئة البرمجية MATLAB والمقارنة مع البروتوكول التقليدي IEEE802.15.4 من حيث مجموعة من مقاييس الأداء، حيث بينت النتائج أن IEEE802.15.6 يحقق نسبة أقل من الرزم المفقودة وتخامد المسار، بالإضافة إلى قيم منخفضة للتأخير ومعدل إنتاجية أعلى، مع استهلاك أقل للطاقة من البروتوكول التقليدي IEEE802.15.4 في نطاقات محددة، كما تم استنتاج أن المخططات البيانية لمقاييس الأداء ليست عشوائية إنما يتقارب سلوكها مع سلوك التوزيع الاحتمالي لمجموع تابعين غاوسيين في سيناريوهات WBAN المتعددة، ويرجع هذا السلوك إلى نظرية الحدود المركزية والتي تشير إلى أن مجموع

تخفيف التداخل بين شبكات Wireless Body Area Network(WBAN) بالاعتماد على تقنيات  
IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6 متعدد القنوات

عدد من المتغيرات العشوائية، بغض النظر عن التوزيع الذي تنتمي إليه في الأصل،  
يتقارب مع التوزيع الغاوسي.

الكلمات المفتاحية: IEEE802.15.6، IEEE802.15.4، MAC، WBAN، متعدد  
القنوات، تخفيف التداخل.

---

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

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

# Reducing interference between Wireless Body Area Network(WBANs) based on IEEE802.15.4 and IEEE802.15.6 multi-channel technologies

\*Dr. Naji Ibrahim Mohamad

\*\*Loujain Mohamad Mousa

## □ ABSTRACT □

The most popular application of WBANs is in healthcare. When a set of people who have a WBAN are in a small area like the hospital, the transmitted wireless signals can interfere with each other leading to signal loss due to body movement. Therefore, it is critical to mitigate the interference between WBANs in order to keep system reliability. It has been proposed to use a multi-channel IEEE802.15.6 protocol which allows multi-transmissions of data over different channels, in addition to proposing an algorithm to mitigate the interference between WBANs. The simulation was performed using MATLAB and compared the results with the IEEE802.15.4 protocol through a set of metrics. The results showed that the IEEE802.15.6 is overpassing the traditional protocol through lower values of dropped packets, pathloss, delay, energy consumed and higher values of throughput. it was concluded that the graphical of the metrics are not random, instead of that, its behavior converges with the sum of two gaussian functions, this is due to the fact that the sum of a number

تخفيف التداخل بين شبكات Wireless Body Area Network(WBAN) بالاعتماد على تقنيات  
IEEE802.15.6 و IEEE802.15.4 متعدد القنوات

of random variables converges with the gaussian distribution according to the central limit theory (CLT).

**Keywords:** IEEE802.15.4, IEEE802.15.6, MAC, WBAN, Multi-Channel, Interference Mitigation.

---

\* Teacher, Communication Technology Engineering Department, Information and communication Technology Engineering, Tartous University, Syria.

\*\* Master student, Communication Technology Engineering Department, Information and communication Technology Engineering, Tartous University, Syria.

## 1- المقدمة والدراسات المرجعية

تستخدم شبكات الجسم اللاسلكية (WBAN) Wireless Body Area Network على نطاق واسع في المجال الطبي حيث يمكن وضع عقد الاستشعار في جسم الإنسان لمراقبة الإشارات الحيوية [1]. عندما يكون العديد من المرضى داخل منطقة صغيرة مثل المستشفى، قد تتداخل الإشارات اللاسلكية لشبكات WBAN مع بعضها البعض، حيث أظهرت الدراسات التي أجريت في [2][3] أن التداخل يقلل من الأداء من حيث نسبة الرزم المستلمة والاستجابة. من ناحية أخرى، تناولت العديد من الأبحاث السابقة آليات مختلفة لتخفيف التداخل بين شبكات WBANs، حيث بين الباحثون في [4] آلية القفز بين القنوات (channel hopping)، والتي تقوم على تبديل قناة العمل إلى قناة أخرى تتضمن تداخلات أقل وجودة نقل أفضل، لكن بيّنت النتائج أنّ هذه الآلية تزيد من التأخير واستهلاك الطاقة لأنه يتم اختيار القناة الجديدة بشكل عشوائي دون إجراء تحسس للقنوات، مما قد يؤدي إلى التصادم مع شبكة أخرى تختار القناة نفسها. من ناحية أخرى، اقترح الباحثون في [5] آلية تهدف إلى اكتشاف الشبكات المجاورة المتداخلة والتعاون فيما بينها من خلال تشكيل جدول زمنية مشتركة، لكن أظهرت النتائج ازدياداً في قيم التأخير لأن هذه الآلية تتطلب تبادل معلومات إضافية من أجل تحقيق التزامن والذي يعتبر مهمّة صعبة بسبب حركية شبكة WBAN. أيضاً، وضّح الباحثون في [6] فعالية استخدام شبكات WBANs في المجال الطبي، حيث تضمنت الدراسة ثلاث سيناريوهات بدءاً من وجود مريض واحد داخل غرفة في المستشفى إلى وجود مريضين داخل غرفة واحدة، ومن ثم جناح فيه ثلاث غرف وكل غرفة تحوي مريضين. وبمقارنة السيناريوهات الثلاثة، بينت النتائج تزايداً في التأخير والحمل وانخفاضاً في الإنتاجية مع ازدياد عدد المرضى بسبب تضاعف حجم البيانات المرسلّة والمستقبلة بين عقد الحساسات والمنسقات. لذلك تبين أنه من الضروري التخفيف من التداخل قدر الإمكان مع تزايد شبكات WBANs لضمان مستويات عالية من جودة الخدمة. تعمل بروتوكولات MAC الحالية على قناة واحدة، مما يسبب تصادمات عند الوصول إلى الوسط، لذلك تعتبر بروتوكولات MAC متعددة

القنوات الأفضل لزيادة الإنتاجية في مختلف الشبكات اللاسلكية [7]. بدافع من التحديات المذكورة أعلاه، تم ضمن هذا العمل اقتراح استخدام البروتوكول IEEE802.15.6 متعدد القنوات والذي يسمح بالإرسال المتعدد للبيانات في وقت واحد عبر قنوات مختلفة، والمقارنة مع أداء البروتوكول التقليدي IEEE802.15.4 من حيث مجموعة من المقاييس حيث بينت النتائج أن IEEE802.15.6 يتفوق على البروتوكول التقليدي ضمن بيئة محددة. كما تم استنتاج أن سلوك مقاييس الأداء يتبع شكلاً تقريبياً لمجموع تابعين غاوسيين في سيناريوهات WBAN المتعددة.

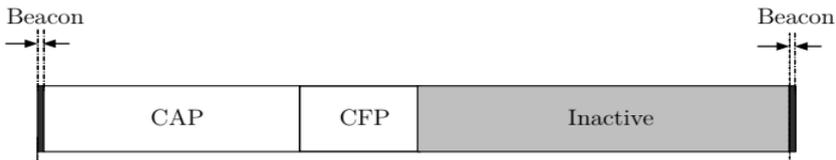
## 2- هدف البحث وأهميته

تبرز أهمية البحث في دراسة تأثير التداخل بين شبكات WBANs نظراً لوجودها داخل منطقة محددة، وتحسين موثوقية وإنتاجية النظام. وتتجلى أهمية البحث أيضاً في تحسين الأداء وجودة الخدمة من خلال السماح بالإرسال المتعدد للبيانات في وقت واحد عبر قنوات مختلفة. بغية تحقيق الهدف المطلوب تم اقتراح خوارزمية لتخفيف التداخل بين شبكات WBAN المجاورة كما تم دراسة البروتوكولات IEEE802.15.6 متعدد القنوات و IEEE802.15.4 التقليدي والمقارنة بينهما من حيث مجموعة من مقاييس الأداء.

## 3- طرائق البحث ومواده

### 3-1 البروتوكول IEEE 802.15.4

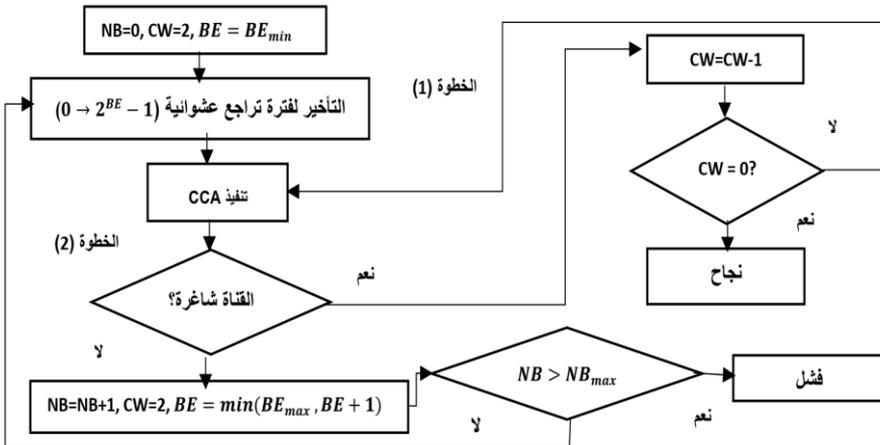
يعتبر IEEE 802.15.4 التقنية اللاسلكية التقليدية لشبكات WBAN [8].



الشكل (1): بنية الإطار للبروتوكول IEEE 802.15.4 [8]

يتم إدارة الوصول إلى القناة من خلال الإطار (superframe) الموضح في الشكل (1)، والذي يتكون من جزء غير نشط (inactive) يسمح للعقد بالذهاب إلى وضع النوم؛ بينما ينقسم الجزء النشط إلى فترتين: فترة الوصول بالتنافس Contention Access Period

(CAP)، وفيها يتم استخدام تقنية (CSMA/CA)، وفترة عدم التنافس Contention (CFP) Free Period (CFP)، حيث يتم تخصيص حيزات زمنية للعقد من قبل المنسق. تتم تهيئة المتغيرات NB و CW و BE إلى 0 و 2 و  $BE_{min}$  على التوالي كما يوضح الشكل (2) حيث NB هو عدد مرات التراجع، CW هو حجم نافذة الازدحام و BE هو Backoff Exponent. عند استقبال المنارة، يتم تأخير أي نشاط لعدد من فترات التراجع ضمن المجال  $(0 \rightarrow 2^{BE} - 1)$ . ثم يتم إجراء تحسس للقناة، إذا تم تقييمها على أنها مشغولة، يتم ضبط CW على  $2 \times NB$  وزيادة NB و BE بمقدار 1، بحيث  $BE \leq BE_{max}$ . إذا كانت قيمة NB أقل من  $NB_{max}$ ، تعود الخوارزمية إلى الخطوة (1)؛ وإلا لن تنجح العقدة في الوصول إلى القناة. إذا تم تقييم القناة على أنها شاغرة، يتم تقليل CW بمقدار 1. إذا كانت  $CW > 0$ ، تعود الخوارزمية إلى الخطوة (2)؛ وإلا يبدأ الإرسال [8].



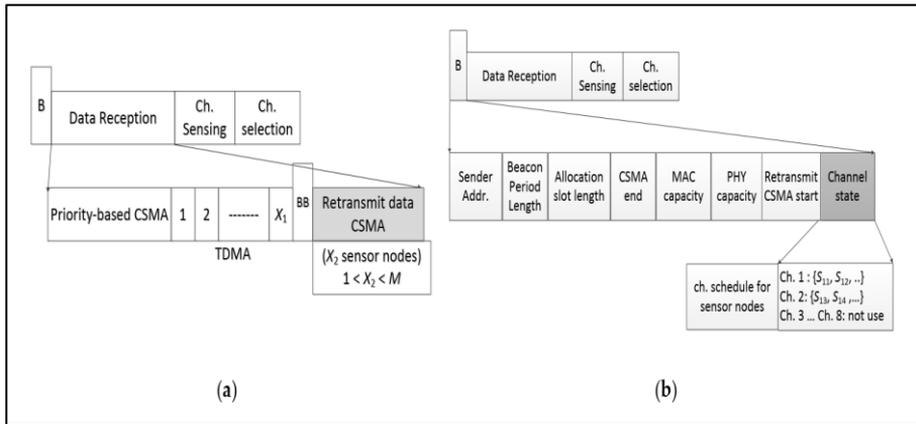
الشكل (2): خوارزمية CSMA/CA الخاصة بالبروتوكول IEEE802.15.4

### 3-2 البروتوكول IEEE 802.15.6 متعدد القنوات

تم اقتراح استخدام البروتوكول (IEEE802.15.6) MAC متعدد القنوات لتخفيف التداخل بين شبكات WBANS [9]. يوضح الشكل (3) الإطار الخاص بهذا المعيار والذي يتضمّن رسالتين منارة (B, BB)، الجزء CSMA/CA القائم على الأولوية، الجزء TDMA للأولويات المنخفضة والجزء CSMA/CA لإعادة إرسال الرزم المفقودة. يتم استخدام هذا الإطار للتكيف مع نقل البيانات ذات الأولويات المختلفة بالإضافة إلى تبادل

تخفيف التداخل بين شبكات Wireless Body Area Network(WBAN) بالاعتماد على تقنيات IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6 متعدد القنوات

الرسائل بين شبكات WBANS واختيار القنوات. يتم إرسال أول رزمة منارة في بداية الإطار من قبل المنسق كما هو موضح في الشكل (3-b). في الحقل (Channel-state)، يقوم المنسق ببث قائمة قنوات البيانات إلى عقد الحساسات بالإضافة إلى القنوات التي لا يمكن لهذه العقد استخدامها. في الحقل المخصص لاستقبال البيانات كما يوضح الشكل (3-a)، تستخدم تقنيات الوصول إلى الوسط CSMA/CA و TDMA، حيث أنه في الجزء CSMA/CA، يمكن فقط للمستخدمين ذي الأولوية العالية الوصول إلى القناة، بينما تصل العقد الأخرى إلى القناة في الجزء TDMA. في حالة الرزم المفقودة، يقوم المنسق ببث رسالة منارة ثانية تسمى BB بعد الجزء TDMA. تتكون رسالة المنارة الثانية من قائمة العقد التي تحتاج إلى إعادة الإرسال حيث يمكن للعقد التي فقدت الرزم إعادة إرسالها في الجزء المخصص من الإطار بالاعتماد على تقنية CSMA/CA [9].



الشكل (3): بنية الإطار للبروتوكول IEEE 802.15.6 متعدد القنوات a- الإرسال بين شبكات WBANS ؛ b- رسالة المنارة [9]

### 3-2-1 تخفيف التداخل بين شبكات WBANS

بفرض أن شبكات WBANS تعمل على طيف مكوّن من  $K$  قناة، ومن بين مجموعة القنوات هذه، توجد قناة مشتركة لتبادل الرسائل بين منسقات شبكات WBANS و ( $K - 1$ ) قناة للإرسال داخل شبكة WBANS. تضم كل شبكة WBANS قناة تحكم واحدة و

$M_{DATA}$  قناة بيانات، حيث يتم استخدام قناة التحكم لإرسال رزم المنارة وإشعارات الوصول (ACK) من المنسق إلى عقد الحساسات، بينما يتم استخدام قناة البيانات لنقل المعلومات التي تم جمعها من عقد الحساسات إلى المنسق [9]. تعطى خوارزمية تخفيف التداخل كما هو موضح في الشكل (4)، حيث يتحسس كل منسق القناة بالاعتماد على قيمة  $SINR$  من خلال الكشف عن مستوى الطاقة ومن ثم ينشئ قائمة من القنوات المتاحة لديه (IdleCh) ويقوم بتبادل قائمة القنوات هذه مع جيرانه على بعد قفزة واحدة [9]. في حالة وجود أي منسق مجاور له نفس قائمة القنوات الشاغرة، فسيتبادل المنسق الرسائل للعثور على قنوات أخرى حيث يتم التحقق من مستوى التداخل وتحسب كل شبكة WBAN قيمة الأولوية وفق العلاقة [9]:

$$Pval_i = \frac{\Delta C_i}{C_{max}} \times \frac{\Delta TI_i}{\Delta T} \quad (1)$$

حيث:  $\Delta T$  إجمالي زمن التشغيل،  $\Delta TI_i$  عدد الإطارات المتداخلة،  $C_i$  معدل الاتصالات داخل القناة خلال  $\Delta T$ ،  $C_{max}$  المعدل الكلي للقناة.

يكون لشبكة WBAN التي تملك أكبر قيمة ( $Pval$ )، أولوية أعلى للوصول إلى القنوات المتاحة، حيث يتم مقارنة العدد الكلي للقنوات (Total Available Channel) مع المعدل  $\Delta C_i$ ، ثم حساب عدد القنوات المتاحة للشبكة الحالية. ومن ثم تحصل شبكات WBAN الأخرى على قنواتها، وأخيراً يتم حساب قنوات البيانات لكل شبكة WBAN كما توضح خوارزمية تخفيف التداخل (اختيار القناة بين المنسقات) [9].

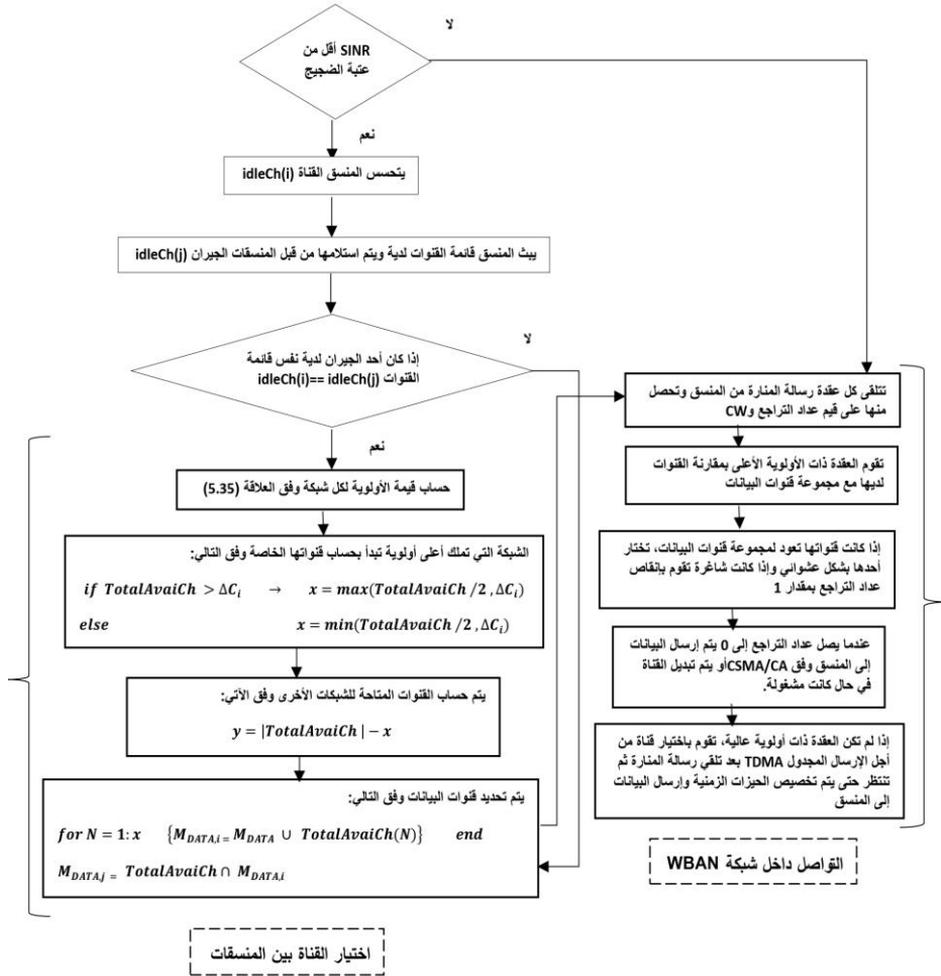
عندما تعثر شبكة WBAN على مجموعة قنوات البيانات الخاصة بها والتي لا تتداخل مع الجوار، يبدأ الاتصال داخل شبكة WBAN كما تبين الخوارزمية (التواصل داخل شبكة WBAN) [9]، حيث تتلقى العقدة رسالة المنارة من المنسق، وتحدد قيمة عداد التراجع (backoff\_counter) وقيمة نافذة الازدحام CW. تحصل العقدة ذات الأولوية الأعلى على قناة البيانات ويتم تقليل عداد التراجع بمقدار 1 إذا كانت القناة شاغرة، وعندما يصل العداد إلى القيمة 0 يتم إرسال رزم البيانات إلى المنسق بالاعتماد على CSMA/CA، بينما ترسل العقدة ذات الأولوية المنخفضة البيانات في الحيزات

تخفيف التداخل بين شبكات Wireless Body Area Network(WBAN) بالاعتماد على تقنيات  
IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6 متعدد القنوات

---

المخصصة لها من قبل المنسق بالاعتماد على TDMA. في حالة فشل الإرسال، تقوم العقدة بتجميع البيانات ومن ثم ترسل رزمة واحدة تحتوي على البيانات المفقودة بالإضافة إلى جميع البيانات التي تم إنشاؤها وعدم إرسالها، وتنتظر رسالة المنارة الثانية، وتكرر الخطوات السابقة من الخوارزمية في الجزء CSMA/CA الخاص بإعادة الإرسال.

لتجنب التصادم في المجال الزمني، يتحسس كل منسق قناة التحكم قبل إرسال المنارة وتظل العقدة مستيقظة للاستماع إليها. بعد تلقي الرسالة، تكون العقدة على علم بقناة البيانات وجدولة TDMA ويتم إيقاف الراديو بعد الإرسال. في نهاية عملية نقل البيانات، يتم تشغيل العقدة للاستماع إلى رسائل (ACK) والمنارة التالية. لذلك، فهو يقلل من الطاقة المستهلكة في التحسس والاستماع للقناة [9].



الشكل (4): خوارزمية تخفيف التداخل بين شبكات WBAN

### 3-3 تحليل مقاييس الأداء

#### 3-3-1 احتمال الإرسال الناجح

بفرض أنه لدينا  $N$  شبكة WBAN وأن كل شبكة تتكون من  $M$  عقدة استشعار ومنسق واحد و  $C$  قناة. يتم تقسيم كل قناة إلى  $T$  حيز زمني وإجمالي الرزم المولدة خلال  $T$  حيز زمني هي  $G$  رزمة. باعتبار إجمالي عدد دورات العمل (عدد الفترات التي يكون فيها الحساس في الوضع النشط active) لعقد الحساسات هو  $K$  دورة وتعطى بالعلاقة [10]:

$$Duty Cycle(k) = 2^{SO-BO} ; \quad 0 \leq SO \leq BO \leq 14 \quad (2)$$

حيث:  $SO$  متغير يحدد الفترة النشطة من الإطار (active period)،  $BO$  متغير يحدد طول الإطار (length of superframe). يتم حساب عدد الرزم المستلمة بنجاح لدى المنسق وفق العلاقة [9]:

$$P_S = G \times p_s \quad (3)$$

حيث:  $p_s$  احتمال استلام الرزمة بنجاح لدى المنسق. يعبر عن عدد الرزم المفقودة من خلال الفرق بين العدد الكلي للرزم ضمن الحيز الزمني ( $G$ ) وعدد الرزم المستلمة بنجاح ( $P_S$ ) ويعطى بالعلاقة [9]:

$$Dropped\ Packets(D) = G - P_S \quad (4)$$

يعبر معدل الخطأ في الرزم Packet Error Rate (PER) عن النسبة بين العدد الكلي للرزم المفقودة والرزم المولدة، ويعطى بالعلاقة [11]:

$$PER = \frac{Dropped\ Packets}{Generated\ Packets} \times 100\% = \frac{D}{G} \times 100\% \quad (5)$$

في حالة الإرسال داخل شبكة WBAN، يحدث التصادم عندما ترسل عقدتان الرزم في وقت واحد عبر القناة نفسها عند الحيز الزمني  $t_i$ ، وبالتالي يعطى احتمال الإرسال الناجح عند الحيز  $t_i$  عندما تكون القناة شاغرة وفق الآتي [9]:

$$p_{s,i}^k = p_{idle}^k \times p_s(t_i) \quad (6)$$

حيث:  $p_{s,i}^k$  هو احتمال استلام الرزمة بنجاح لدى المنسق من أجل دورة عمل  $k$ ،  $p_{idle}^k$  هو احتمال وجود القناة شاغرة من أجل دورة عمل  $k$ ،  $p_s(t_i)$  هو احتمال الإرسال الناجح في الحيز الزمني  $t_i$ . يتم تمثيل  $p_s(t_i)$  من خلال برنولي (Bernoulli trial) وذلك عندما تحاول عقدة أخرى نقل الرزم، ويعبر عنه بالعلاقة [9]:

$$p_s(t_i) = p_i \binom{M}{1} q(1-q)^{M-1} \quad (7)$$

حيث:  $q$  هو احتمال أن تقوم العقدة باستشعار نجاح للقناة،  $M$  عدد عقد الحساسات في كل شبكة،  $p_i$  احتمال أن ترسل العقدة الرزم في الحيز  $t_i$ . تعطى  $q$  و  $p_i$  وفق الآتي [9]:

$$q = \frac{1}{CW} \quad , \quad p_i = \frac{1}{T} \quad (8)$$

حيث:  $\bar{T}$  عدد الحيزات الزمنية في كل قناة،  $CW$  حجم نافذة الازدحام. وبالتالي، يعطى احتمال الإرسال الناجح من أجل  $K$  دورة عمل بالعلاقة [9]:

$$p_s = \sum_{K=1}^K p_s^k = \sum_{K=1}^K \sum_{i=1}^T p_{idle}^k p_i \binom{M}{1} q(1-q)^{M-1} \quad (9)$$

### 3-3-2 الإنتاجية وزمن الإرسال

يتم قياس الإنتاجية بواسطة عدد الرزم المستلمة بنجاح في الوقت المحدد، ويُعرّف زمن الإرسال بأنه إجمالي الزمن اللازم لإرسال الرزم بما في ذلك زمن التحسس  $T_s$ ، زمن إرسال رزم البيانات  $T_{data}$ ، زمن استلام الإشعار  $T_{ack}$ ، زمن استلام المنارة  $T_B$  و  $T_{BB}$ ، والتأخير الناجم عن إعادة الإرسال  $T_{d,R}$ ، ويعطى بالعلاقة [9]:

$$T_i = T_s + T_{data} + T_{ack} + T_B + T_{BB} + T_{d,R} \quad (10)$$

وبالتالي، يعطى التأخير الكلي للإرسال كالاتي [9]:

$$T_D = \sum_{i=1}^G T_i \quad (11)$$

ويعبر عن الإنتاجية من خلال النسبة بين الرزم المستلمة بنجاح لدى المنسق ومعدل التأخير الكلي للإرسال في الشبكة [9]:

$$\text{Throughput} = \frac{P_S}{T_D} \quad (12)$$

### 3-3-3 تخامد المسار والطاقة المستهلكة

يعبر تخامد المسار عن التوهين في قدرة الإشارة المستقبلية، والتي يتم إرسالها من قبل المنسق (المرسل) إلى الوحدة الطبية المسؤولة عن المرضى (المستقبل). يقاس التخامد بوحدة الديسبل (db) ويعطى بالعلاقة [12]:

$$\text{pathloss}(\text{free space}) = 10 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (13)$$

حيث:  $d$  هي المسافة بين المرسل والمستقبل، و  $\lambda$  طول الموجة.

تعمل شبكة WBAN على مقربة من جسم الإنسان، والذي ينتج عنه تخامد إضافي باعتبار الجسم البشري هو وسط الانتشار بين عقد الحساسات والمنسق مما يؤدي إلى تدهور الأداء بسبب التأثير السلبي للجسم البشري على قناة الانتشار (ظلال الجسم). وبالتالي، يعطى تخامد المسار الكلي بالعلاقة [12]:

$$pathloss = 10 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 + 40 \log \left( \frac{distance}{d} \right)^{3.38} \quad (14)$$

حيث:  $distance$  هي المسافة بين عقدتين جيران، و  $3.38$  هي  $pathloss$  exponent للجسم البشري.

تتوزع الطاقة المستهلكة  $E_C$  ما بين الطاقة اللازمة للإرسال والاستقبال، والطاقة اللازمة للاستيقاظ من وضع النوم وتقييم القناة وغيرها، وتعطى بالعلاقة [13]:

$$E_C = (E_t + E_r + E_{sw} + E_{wakeup} + E_{bff}) \times PER \quad (15)$$

حيث:  $PER$  معدل الخطأ في الرزم،  $E_{bff}$  الطاقة المستهلكة أثناء عملية التراجع وتعطى بالعلاقة [13]:

$$E_{bff} = E_s + E_{CCA} \quad (16)$$

حيث:  $E_{CCA}$  الطاقة المستهلكة أثناء تقييم القناة على أنها شاغرة أو مشغولة،  $E_s$  الطاقة المستهلكة أثناء تحسس الوسط.

تشير  $E_t$  إلى الطاقة المستهلكة في الإرسال وتعطى بالعلاقة [13]:

$$E_t = (P_{LO} + P_{PA}) \times t_{tx} \quad (17)$$

حيث:  $t_{tx}$  الزمن اللازم لإرسال الرزم،  $P_{LO}$  الاستطاعة المستهلكة من قبل دائرة الحساس وعندما يكون الحساس في وضع الإرسال تعطى بالعلاقة [13]:

$$P_{LO} = Supply Voltage \times Transmit Current \quad (18)$$

حيث: *Supply Voltage* هو الجهد المطبق على الدارة ويقاس بوحدة الفولت (V)،  
*Transmit Current* هو تيار الإرسال في الدارة ويقاس بوحدة الملي أمبير  
 (mA).

$P_{PA}$  هي الطاقة المستهلكة من قبل المضخم (amplifier) وتعطى بالعلاقة [13]:

$$P_{PA} = 1/\eta \times P_{out} \quad (19)$$

حيث:  $P_{out}$  مستوى الاستطاعة الخارجة من المضخم،  $\eta$  الفعالية (power efficiency)

تعتبر  $E_r$  عن الطاقة المستهلكة في الاستقبال وتعطى بالعلاقة [13]:

$$E_t = (P_{LO} + P_{RX}) \times t_{rx} \quad (20)$$

حيث:  $P_{RX}$  الاستطاعة المستهلكة من قبل المكونات النشطة في دارة الحساس،  $t_{rx}$  زمن استقبال الرزم. وعندما يكون الحساس في وضع الاستقبال تعطى  $P_{LO}$  بالعلاقة [13]:

$$P_{LO} = \text{Supply Voltage} \times \text{Receive Current} \quad (21)$$

حيث: *Receive Current* هو تيار الاستقبال في الدارة ويقاس بوحدة (mA).

تعتبر  $E_{wakeup}$  عن الطاقة المستهلكة أثناء استيقاظ الحساسات وتعطى بالعلاقة [13]:

$$E_{wakeup} = P_{LO} \times t_{st} \quad (22)$$

حيث:  $t_{st}$  الزمن اللازم حتى تستيقظ جميع مكونات دارة الحساس.

تشير  $E_{sw}$  إلى الطاقة المستهلكة أثناء تبديل الحساس بين وضع الإرسال والاستقبال وتعطى بالعلاقة [13]:

$$E_{sw} = P_{LO} \times t_{sw} \quad (23)$$

حيث:  $t_{sw}$  الزمن اللازم للتبديل بين وضع الإرسال والاستقبال.

#### 4- النتائج والمناقشة

تم في هذا الجزء من العمل دراسة تأثير التداخل المحتمل بين شبكات WBANS وإثبات فعالية الآلية المقترحة في تحسين موثوقية وأداء النظام. تم تقييم أداء البروتوكول

تخفيف التداخل بين شبكات Wireless Body Area Network (WBAN) بالاعتماد على تقنيات IEEE802.15.6 و IEEE802.15.4 متعدد القنوات

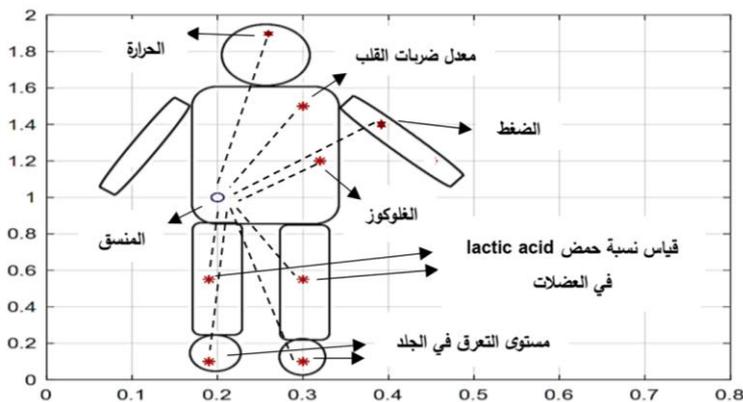
IEEE802.15.6 من خلال عمليات المحاكاة باستخدام البيئة البرمجية MATLAB(R2018b)، والمقارنة مع أداء البروتوكول التقليدي IEEE802.15.4 من خلال مجموعة من مقاييس الأداء حيث نهدف إلى اشتقاق هذه المقاييس فيما يتعلق بعدد دورات العمل وذلك من أجل سيناريوهات WBAN المتعددة والتي تتضمن زيادة كثافة الشبكة، أي زيادة عدد المرضى حتى 24 مريض (24 شبكة WBANs) ضمن منطقة المحاكاة (جناح في المستشفى) وإظهار إلى أي مدى يمكن للبروتوكول IEEE802.15.6 المحافظة على قيم مقبولة لمقاييس الأداء. تتكون كل شبكة من منسق واحد و 8 عقد حساسات موضحة في الشكل (5)، ويتم تليخيص بارامترات المحاكاة كما هو موضح في الجدول (1).

يتم العمل في النطاق (ISM) (2400-2483.5 MHz)، وبالتالي يكون عرض المجال الترددي (Bandwidth) للنطاق 2.4GHz هو 83.5 MHz والذي يمكن ان يكون مقسم لـ 13 قناة على الأكثر [14].

الجدول (1): بارامترات المحاكاة

البارامتر	قيمه
عدد شبكات WBANs	1-24
عدد الحساسات في كل شبكة WBAN	عقدة منسق و 8 عقد حساسات
عدد القنوات في كل شبكة WBAN	5 قنوات
عدد القنوات الإجمالي المتاح للشبكات	13 قناة
منطقة المحاكاة	20 meters×20 meters
مجال الإرسال	4 meters
المسافة بين المنسق والعقد	0.6-1.4 meters
معدل البيانات	250 kbps
حجم المنارة	15 bytes
طول الإطار superframe	100 ms (milli second)
زمن تنفيذ CCA	0.01 ms (milli second)
عدد حيزات TDMA في الإطار	4-6 حيزات

2.4 GHz	التردد
10 رزمة في الثانية	معدل وصول الرزم
17.4 mA (milli Amber)	تيار الإرسال (Transmit Current)
19.7 mA (milli Amber)	تيار الاستقبال (Receive Current)
2 mJ (milli Joule)	الطاقة المستهلكة عند كل تشغيل للقناة
3.3 Volt	الجهد (Supply Voltage)
83.5 MHz	عرض المجال الترددي Bandwidth

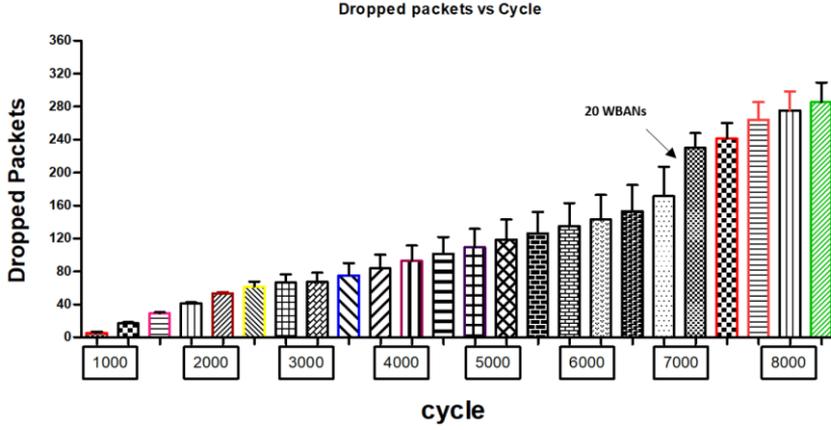


الشكل (5): مواضع عقد الحساسات ضمن الجسم البشري

#### 4-1 معدل الرزم المفقودة في شبكات WBANs

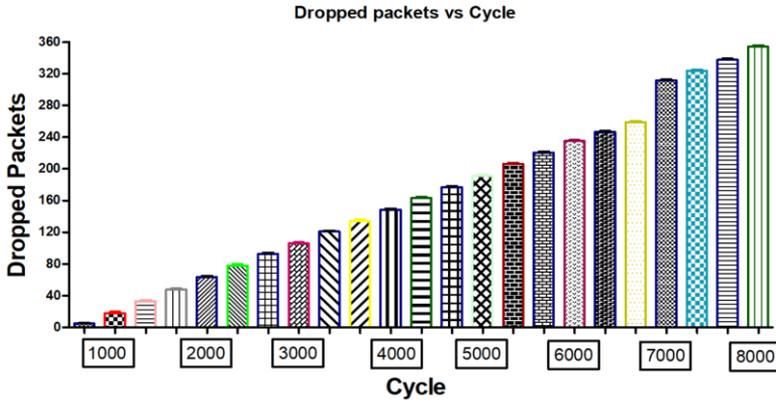
يوضح الشكل (6) إجمالي الرزم المفقودة مع تزايد كثافة الشبكة (حتى 24 WBANs) وذلك من أجل عدد من دورات العمل عند استخدام البروتوكول IEEE802.15.6 متعدد القنوات. تعبر الأعمدة عن عدد شبكات WBANs ضمن منطقة المحاكاة، بدءاً من العمود الأول الذي يبيّن وجود شبكة واحدة في منطقة المحاكاة وانتهاءً بالعمود 24 والذي يعبر عن وجود (24 WBANs) ضمن منطقة المحاكاة. يبيّن الشكل أن عدد الرزم المفقودة منخفض نسبياً حتى كثافة (20 WBANs) تقريباً، مع ازدياد الكثافة (أكثر من 20 WBANs) نلاحظ قفزة وارتفاع كبير في عدد الرزم المفقودة.

تخفيف التداخل بين شبكات Wireless Body Area Network(WBAN) بالاعتماد على تقنيات IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6 متعدد القنوات



الشكل (6): عدد الرزم المفقودة من أجل عدد من دورات العمل عند استخدام البروتوكول IEEE802.15.6

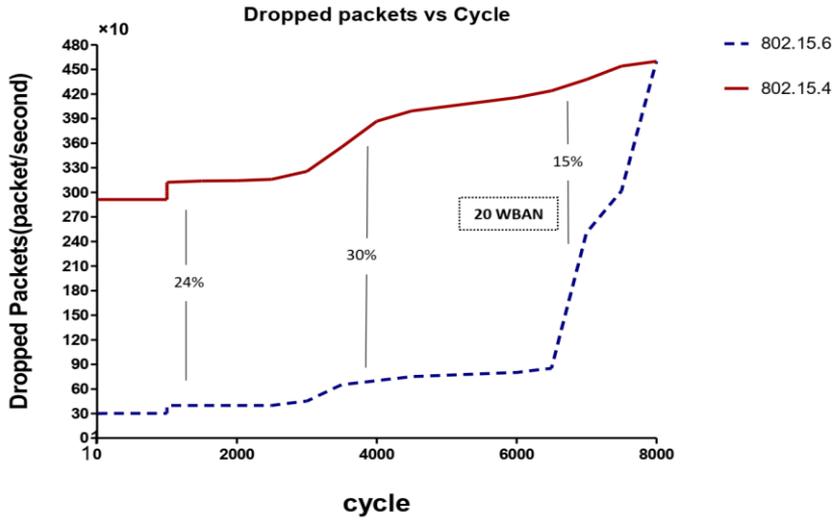
يوضح الشكل (7) إجمالي الرزم المفقودة مع تزايد كثافة الشبكة (حتى 24 WBANs) وذلك من أجل عدد من دورات العمل عند استخدام البروتوكول التقليدي IEEE802.15.4 حيث يبين الشكل أن عدد الرزم المفقودة يزداد بشكل كبير مع تزايد عدد شبكات WBANs ضمن منطقة المحاكاة.



الشكل (7): عدد الرزم المفقودة من أجل عدد من دورات العمل عند استخدام البروتوكول IEEE802.15.4

لتفسير النتائج السابقة بشكل أوضح، يبين الشكل (8) المخطط البياني لعدد الرزم المفقودة الموضحة في العلاقة (4) من أجل عدد من دورات العمل وذلك عند استخدام كل من

IEEE802.15.6 و IEEE802.15.4، حيث يكون عدد الرزم المفقودة كبيراً في حالة البروتوكول التقليدي لأن العقدة سوف تنتظر عدد من فترات التراجع عندما تكون القناة مشغولة بينما نرى انخفاضاً واضحاً في عدد الرزم المفقودة في حالة البروتوكول IEEE802.15.6 بسبب خوارزمية تخفيف التداخل المقترحة، ويلاحظ أنه سيتم إعادة إرسال أي رزم مفقودة في الجزء المخصص لها من الإطار. لكن هذا الانخفاض يكون حتى كثافة 20 WBANs، مع تزايد عدد الشبكات (تزايد عدد الحساسات التي تكون في الوضع النشط) يزداد عدد دورات العمل لعقد الحساسات، وبالتالي يزداد فقدان الرزم بشكل كبير حتى يقارب قيم البروتوكول التقليدي. يعود السبب في ذلك إلى أن عدد القنوات لكل شبكة WBAN هو 4 بينما يبلغ عدد القنوات الإجمالية المتاحة للشبكات 13 قناة كما يوضح الجدول (1). وبالتالي، أكثر من شبكة WBAN تحتاج لإعادة استخدام القناة، مما أدى إلى فقدان الرزم لدى المنسق.

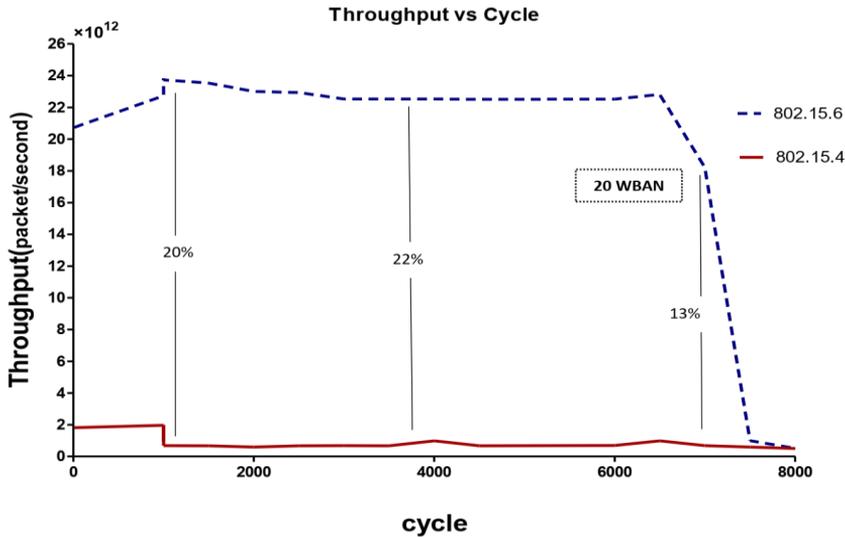


الشكل (8): إجمالي الرزم المفقودة من أجل عدد من دورات العمل عند استخدام كل من

IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6

#### 4-2 معدل الإنتاجية في شبكات WBANs

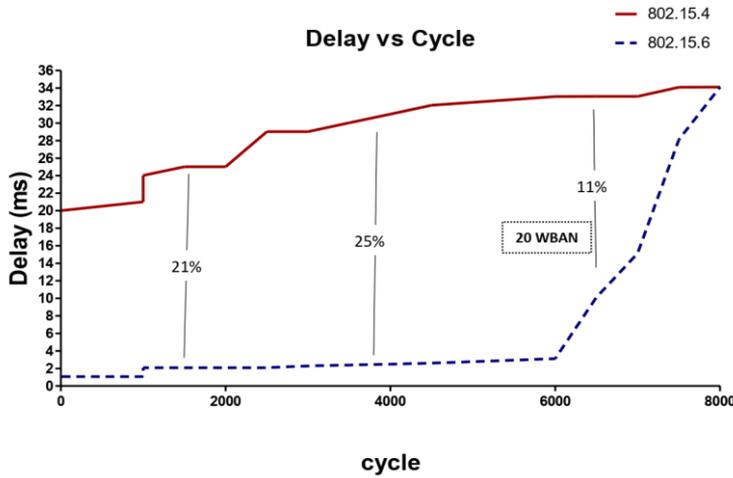
يوضح الشكل (9) المخطط البياني لمعدل الإنتاجية الموضح في العلاقة (12) من أجل عدد من دورات العمل وذلك عند استخدام كل من IEEE802.15.6 و IEEE802.15.4، حيث يبين الشكل ارتفاعاً في قيم الإنتاجية عند استخدام البروتوكول متعدد القنوات يقابله انخفاض ملحوظ للقيم في حالة البروتوكول التقليدي وذلك مع تزايد كثافة الشبكة حتى 20 WBANs، ويفسر ذلك بأنه في البروتوكول متعدد القنوات ترسل العقدة البيانات الطارئة في الجزء CSMA من الاطار؛ إذا كانت القناة مشغولة، فستتحول العقدة إلى قناة أخرى بينما في البروتوكول التقليدي عندما يكون الوسط مشغولاً، تقفل العقدة عداد التراجع وتنتظر حتى تصبح القناة شاغرة. عندما تتجاوز الكثافة الـ 20 شبكة، تنخفض الإنتاجية بشكل كبير في حالة البروتوكول IEEE802.15.6 لقيم قريبة نسبياً من البروتوكول التقليدي نظراً لأن أي عمليات إرسال فاشلة سيتم إعادة إرسالها في الجزء CSMA، وبالتالي ستحتل البيانات الطارئة القناة بينما يتعين على البيانات المجدولة الانتظار لأنها ترسل في الجزء TDMA دون تبديل القناة.



الشكل (9): معدل الإنتاجية من أجل عدد من دورات العمل عند استخدام كل من IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6

#### 3-4 معدل التأخير في شبكات WBANs

يوضح الشكل (10) المخطط البياني لمعدل التأخير الموضح في العلاقة (10) من أجل عدد من دورات العمل وذلك عند استخدام كل من IEEE802.15.6 و IEEE802.15.4، حيث يبين الشكل قيمة منخفضة للتأخير عند استخدام البروتوكول المقترح مع تزايد الكثافة حتى 20 WBANS، لأنه كما ذكرنا سابقاً تقوم العقدة بتبديل القناة عندما تجد الوسط مشغولاً كما يتم إعادة إرسال الرزم الفاشلة في الجزء المخصص من الإطار بالاعتماد على CSMA/CA، يقابلها ازدياد في التأخير في حالة البروتوكول التقليدي نتيجة انتظار العقد للحصول على القناة الشاغرة. عندما يتجاوز عدد WBANS الـ 20 شبكة، يرتفع التأخير بشكل كبير في حالة البروتوكول المقترح لقيم قريبة نسبياً من البروتوكول التقليدي لأنه مع ازدياد الكثافة يزداد عدد الرزم المفقودة بسبب الحاجة لإعادة استخدام القنوات من قبل بعض شبكات WBANS.

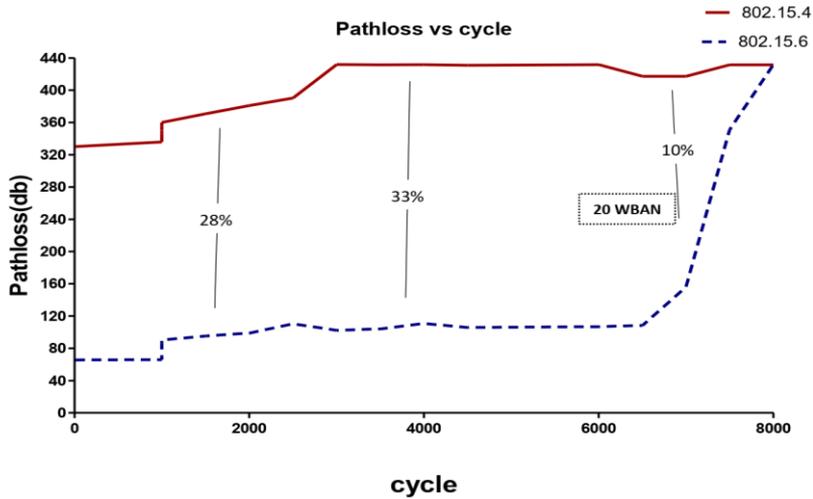


الشكل (10): معدل التأخير من أجل عدد من دورات العمل عند استخدام كل من IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6

#### 4-4 معدل تخادم المسار في شبكات WBANS

يوضح الشكل (11) المخطط البياني لتخادم المسار الموضح في العلاقة (14) من أجل عدد من دورات العمل وذلك عند استخدام كل من IEEE802.15.6 و IEEE802.15.4، حيث يبين الشكل أن قيم التخادم في حالة البروتوكول متعدد

القنوات أقل منها عند اعتماد البروتوكول التقليدي وذلك مع تزايد عدد WBANS حتى 20 شبكة، وذلك بسبب خوارزمية التواصل المقترحة حيث في حالة فقد رزمة بسبب مشكلات الاتصال الناتجة عن تأثير ظلال الجسم، فإن إعادة إرسالها مباشرة غير مجدية كما في حالة البروتوكول التقليدي، لأن القناة ستكون على الأرجح في نفس الظروف بسبب حركات الجسم البطيئة، بالتالي تقوم العقدة بتجميع البيانات وإرسال رزمة واحدة تحتوي على البيانات المفقودة. يزداد تخامد المسار من أجل IEEE802.15.6 مع ازدياد كثافة الشبكة (أكثر من 20 WBANS) ويلامس قيم التخامد للبروتوكول التقليدي بسبب ازدياد تأثير ظلال الجسم نتيجة زيادة عدد المرضى ضمن منطقة المحاكاة وارتفاع قيم التأخير والرزم المفقودة مما يؤثر على عملية تجميع البيانات.



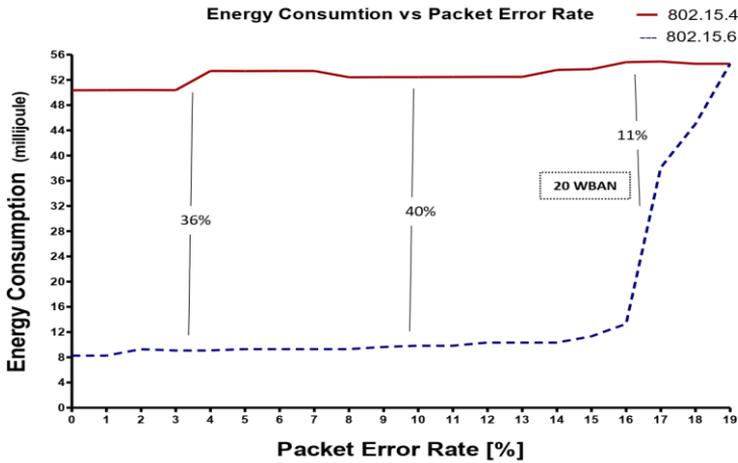
الشكل (11): تخامد المسار من أجل عدد من دورات العمل عند استخدام كل من

IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6

#### 4-5 معدل الطاقة المستهلكة في شبكات WBANS

يوضح الشكل (12) المخطط البياني لمعدل الطاقة المستهلكة الموضح في العلاقة (15) من أجل نسب مختلفة من معدل الخطأ في الرزم وذلك عند استخدام كل من IEEE802.15.6 و IEEE802.15.4، حيث يبين الشكل انخفاضاً في استهلاك الطاقة عند استخدام البروتوكول متعدد القنوات مع تزايد كثافة الشبكة حتى 20 WBANS، لأنه

بعد تلقي رسالة المنارة يتم إيقاف الراديو الخاص بالعقدة وفي نهاية الإرسال، يتم إعادة تشغيله للاستماع إلى رسائل ACK والمنارة. بالمقابل يكون لدينا استهلاك طاقة كبير في حالة البروتوكول IEEE802.15.4 ناتج عن الاستماع الزائد overhearing والتصادمات التي تجعل عمليات إعادة الإرسال ضرورية. من ناحية أخرى، يزداد إجمالي استهلاك الطاقة في الإرسال والاستقبال مع زيادة عدد شبكات WBAN (أكثر من 20) في حالة البروتوكول المقترح لتقارب قيم البروتوكول التقليدي وذلك بسبب زيادة عدد رزم التحكم، لأن المفاوضات بين شبكات WBAN تعتبر الخطوة الضرورية التي تساعد المنسق في التعرف على الشبكة والبيئة.



الشكل (12): معدل الطاقة المستهلكة من أجل نسب مختلفة من معدل الخطأ في الرزم عند استخدام كل من IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6

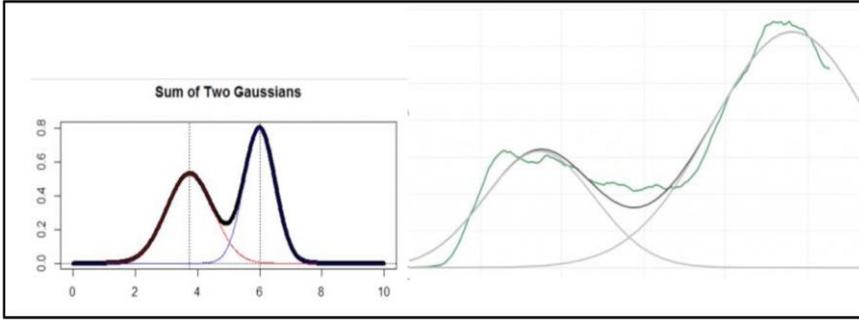
#### 4-6 نموذج مجموع توزيعين غاوسيين sum of two gaussian

هو عبارة عن مزيج خطي لاثنتين من توابع غاوس (Mixture of Gaussians) كما هو موضح في الشكل (13)، ويعبر عنه بالعلاقة:

$$g(x) = y_1(x) + y_2(x) \quad ; \quad y(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (24)$$

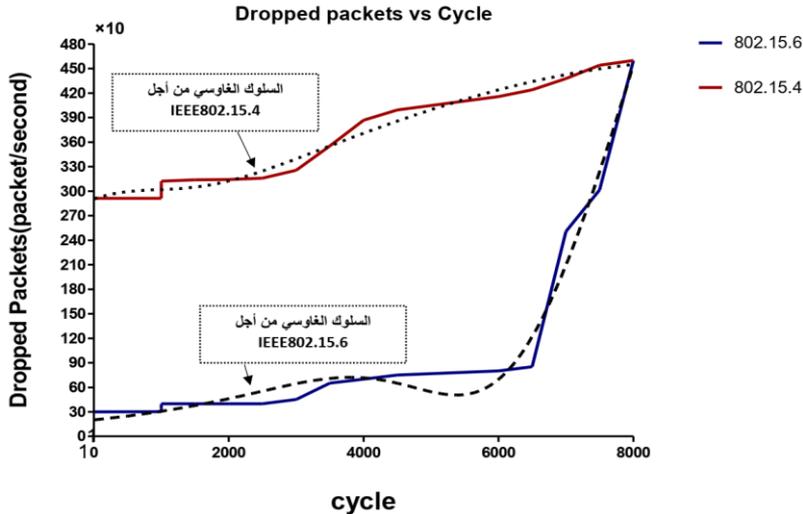
حيث:  $\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$  المطال،  $\mu$  المتوسط،  $\sigma$  الانحراف المعياري.

تخفيف التداخل بين شبكات Wireless Body Area Network(WBAN) بالاعتماد على تقنيات IEEE802.15.6 و IEEE802.15.4 متعدد القنوات

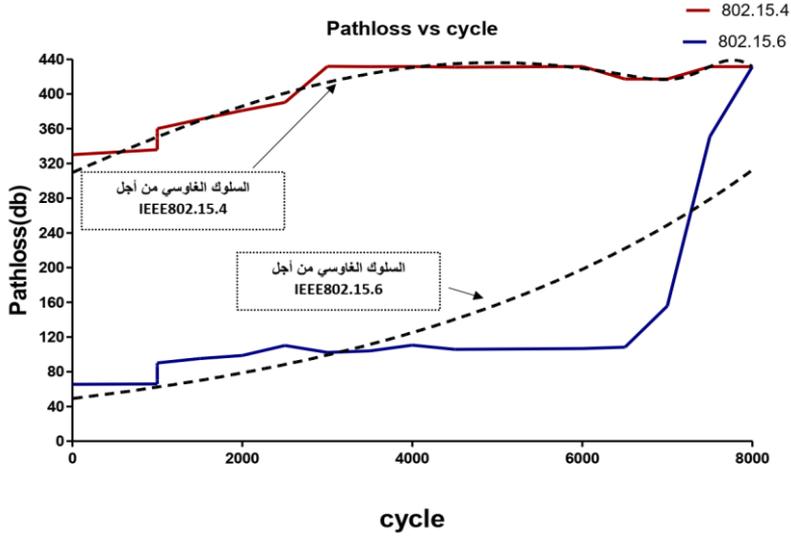


الشكل (13): مجموع توزيعين غاوسيين sum of two gaussian [15]

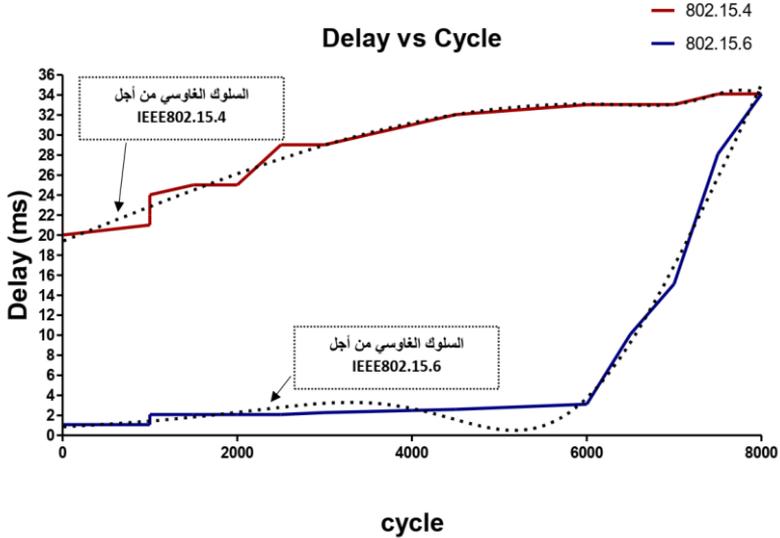
إن الهدف من دراسة هذا النموذج هو إثبات أن المخططات البيانية لمقاييس الأداء ليست عشوائية إنما يتقارب سلوكها مع سلوك التوزيع الاحتمالي لمجموع تابعين غاوسيين، ويعود السبب في ذلك إلى نظرية الحدود المركزية والتي تشير إلى أن أي كمية مادية تتضمن مجموع عدد من العمليات المستقلة تتبع توزيع Gaussian. على سبيل المثال، في إطار نمودجي لمتابعة المرضى، هناك عدة مصادر محتملة للأخطاء؛ خطأ في إدخال البيانات، خطأ في قياس الإشارات الحيوية، حيث من المرجح أن يتبع التأثير التراكمي لجميع أشكال الخطأ هذه التوزيع الغاوسي [15].



الشكل (14): السلوك الغاوسي للرزيم المفقودة من أجل عدد من دورات العمل عند استخدام كل من IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6

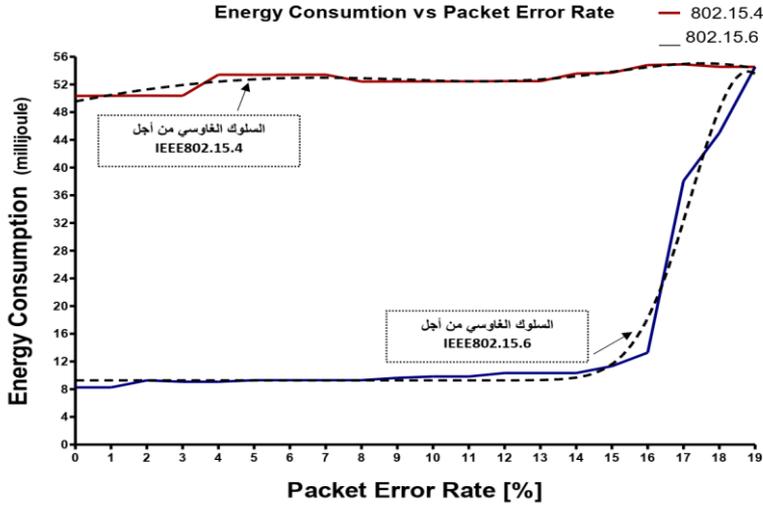


الشكل (15): السلوك الغاوسي لتخامد المسار من أجل عدد من دورات العمل عند استخدام كل من IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6

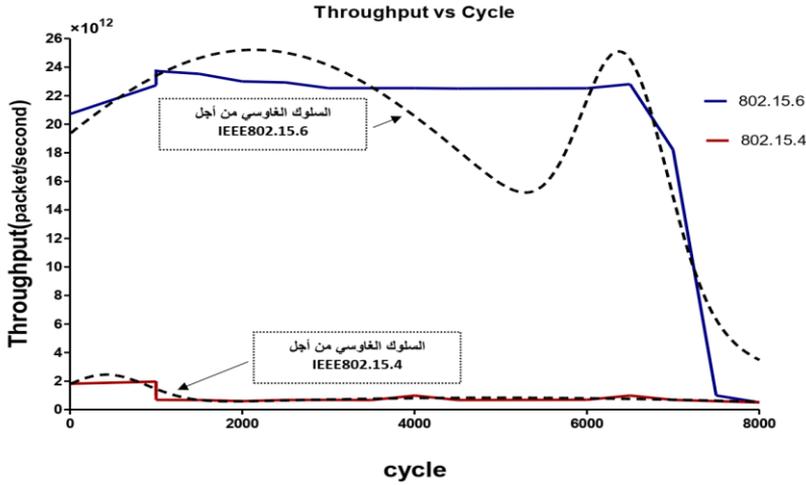


الشكل (16): السلوك الغاوسي لمعدل التأخير من أجل عدد من دورات العمل عند استخدام كل من IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6

تخفيف التداخل بين شبكات Wireless Body Area Network(WBAN) بالاعتماد على تقنيات IEEE802.15.6 و IEEE802.15.4 متعدد القنوات



الشكل (17): السلوك الغاوسي للطاقة المستهلكة من أجل نسب مختلفة من معدل الخطأ في الرزم عند استخدام كل من IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6



الشكل (18): السلوك الغاوسي لمعدل الإنتاجية من أجل عدد من دورات العمل عند استخدام كل من IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6

5-الاستنتاجات والتوصيات

**1-** اعتمد البحث في استخدام النهج المتبع على الانطلاق من نقاط الضعف الأساسية في الدراسات السابقة، والتي كانت تحاول اعتماد أساليب تتطلب المزامنة بين شبكات WBANs

وتبادل معلومات إضافية مما يؤثر سلباً على جودة الخدمة.

**2-** تضمن العمل دراسة المعيار IEEE802.15.4 والذي يعتبر التقنية اللاسلكية التقليدية لشبكات WBAN، كما تم اقتراح استخدام المعيار IEEE802.15.6 متعدد القنوات والذي يسمح بالإرسال المتعدد للبيانات في وقت واحد عبر قنوات مختلفة، بالإضافة إلى ذلك، تم اقتراح خوارزمية لتخفيف التداخل بين شبكات WBAN.

**3-** للتأكد من فعالية النهج المتبع قمنا بإجراء محاكاة باستخدام البيئة البرمجية MATLAB، ويمكن أن نجل الاستنتاجات التي توصلنا إليها وفق ما يلي:

**a-** في حالة تزايد كثافة الشبكة حتى WBAN 20، بين المعيار متعدد القنوات تناقصاً في قيم الرزم المفقودة، التأخير، تخامد المسار، الطاقة المستهلكة وارتفاعاً في قيم الإنتاجية بالمقارنة مع البروتوكول التقليدي، ويعود ذلك إلى خوارزمية تخفيف التداخل المقترحة، حيث تتحول العقدة إلى قناة أخرى عندما تجد الوسط مشغولاً، بينما في المعيار التقليدي تقفل العقدة عداد التراجع وتنتظر حتى يصبح الوسط شاغراً.

**b-** عندما تزايد كثافة الشبكة لأكثر من WBAN 20، أظهر النهج المتبع قيماً غير مقبولة لمقاييس الأداء تتقارب إلى قيم البروتوكول التقليدي، نظراً للحاجة إلى إعادة استخدام القناة، كذلك أي عمليات إرسال فاشلة للرزم ذات الأولوية سيتم إعادة إرسالها في الجزء CSMA/CA، وبالتالي يتعين على البيانات ذات الأولوية المنخفضة الانتظار حتى نهاية الإرسال لأنها ترسل في الجزء TDMA دون تبديل القناة.

**c-** يتبع سلوك مقاييس الأداء شكلاً تقريبياً لمجموع تابعين غاوسيين ويرجع هذا السلوك إلى نظرية الحدود المركزية والتي تشير إلى أن مجموع عدد من المتغيرات العشوائية، بغض النظر عن التوزيع الذي تنتمي إليه في الأصل، يقارب مع التوزيع الغاوسي.

## ومن التوصيات المستقبلية:

- تحسين خوارزمية العمل المتبعة بحيث تحافظ على جودة الأداء مع ازدياد الكثافة  
لأكثر من 20 WBANs.

## 6- المراجع

- [1] Filipe, L.; Fdrex-Riverola, F.; Costa, N.; Pereira, A. **2015**, Wireless Body Area Networks for Healthcare Applications, International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 11. 21-37.
- [2] Sarra, E.; Benayoune, S.; Mouncla, H.; Mehaoua, A. **2014**, Coexistence improvement of wearable body area network (WBAN) in medical environment. international conference on communications (ICC), pp. 5694-5699.
- [3] Sarra, E.; Ezzedine, T. **2016**, Performance improvement of the wireless body area network (WBAN) under interferences, international conference on e-health networking IEEE, pp. 1-6.
- [4] Astrin, A. **2012**, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Part 15.6: Wireless Body Area Networks, Institute of Electrical Engineer (IEEE), vol. 112. 169-174.
- [5] Liu, B.; Yan, Z.; Chen, C. **2017**, Medium Access Control for Wireless Body Area Networks with QoS Provisioning and Energy Efficient Design, IEEE transactions on mobile computing, vol. 16. 422-434.
- [6] Alkubaily, M. **2020**, Study the Effectiveness of Patient's Monitoring in Hospitals Using Wireless Body Sensor Networks, Tishreen University Journal –Engineering Sciences Series, vol. 42. no. 3.
- [7] Wei, Z.; Sun, Y.; Ji, Y. **2017**, A Study on Coexistence Capability Evaluations of the Enhanced Channel Hopping Mechanism in WBANs, Sensors, vol. 17. 1-51.
- [8] Adappa, A. S.; Kumar, K. D.; Boyapati, A. **2019**, Implementation of unslotted and slotted CSMA/CA for 802.11 and 802.15.4 protocol, In Global Conference for Advancement in Technology (GCAT), pp. 1-7.
- [9] LE, Thien Thi Thanh; MOH, Sangman. **2018**, Hybrid multi-channel MAC protocol for WBANs with inter-WBAN interference mitigation, Sensors, vol. 18. 13-73.
- [10] Huynh, D. T.; Chen, M. **2016**, An energy efficiency solution for WBAN in healthcare monitoring system, International Conference on Systems and Informatics (ICSAI), pp. 685-690.

- [11] Cavallari, R.; Martelli, F.; Rosini, R.; Buratti, C.; Verdone, R. **2014**, A Survey on Wireless Body Area Networks: Technologies and Design Challenges, IEEE communications surveys & tutorials, vol. 16. no. 3.
- [12] Nahali, A.; Hamdi, A.; Gautier, M.; Courtay, A.; Braham, R. **2019**, Energy Modeling of Wireless Body Area Networks with On-Body Communication Channel Characterization, International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC), pp. 220-225.
- [13] Biswas, S.; Roy, S. D.; Chandra, A. **2019**, Cross-layer energy model for beacon-enabled 802.15. 4 networks. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, vol. 10. 4209-4224.
- [14] Li, C.; Zhang, B.; Yuan, X.; Ullah, S.; Vasilakos, A.V. **2018**, MC-MAC: A Multi-channel Based MAC Scheme for Interference Mitigation in WBANs, Wireless Network, vol. 24. 719-733.
- [15] Kabal, P. **2019**, Generating Gaussian Pseudo-Random Variates, Technical Report, Dept. Electrical & Computer Engineering, McGill University. Vol.12. 41pp.

