

تأثير أنماط الوصول الاحتمالية الرشقية والأسية على التداخل بين شبكات WBAN وشبكات Wi-Fi

* د. ناجي ابراهيم محمد

** لجين محمد موسى

(تاريخ الإيداع 2020/ 8/ 10. قُبل للنشر في 2021/ 1/ 14)

□ ملخص □

تتكون شبكات WBAN من مجموعة من الأجهزة اللاسلكية الصغيرة (أجهزة استشعار) داخل أو خارج الجسم، والتي تعمل في النطاق ISM بتردد (2.4GHz). تتواجد شبكات Wi-Fi في كل مكان ويمدى تغطية كبير، وبالتالي من المتوقع أن يتدهور أداء شبكات WBAN نتيجة تداخل قنوات التشغيل الخاصة بهما في النطاق الترددي (ISM)، مما يسبب فقدان البيانات المرسله واستهلاك الطاقة الكبير لعقد الحساسات. لذلك، من الأهمية بمكان تخفيف التداخل بين شبكات WBAN وشبكات Wi-Fi من أجل الحفاظ على كفاءة وموثوقية نظام WBAN. تم اقتراح طريقة بسيطة وديناميكية تقوم على إرسال رزم WBAN في الفترة الزمنية الفاصلة بين رزم Wi-Fi من خلال نمذجة هذه الفترة كتوزيع رشقي (pareto)، والمقارنة مع حالة التوزيع الأسّي للزمن الفاصل بين الوصولات من أجل عمليات الوصول (poisson) على أساس التأخير الناتج عن مشغولية الوسط والتصادم. وتمت المحاكاة باستخدام البيئة البرمجية MATLAB، حيث بيّنت النتائج انخفاضاً ملحوظاً في معدل التأخير عند نمذجة الفواصل الزمنية وفق توزيع pareto بالمقارنة مع التوزيع الأسّي من أجل وصولات poisson.

الكلمات المفتاحية: IEEE802.15.4، تابع Poisson، تابع Pareto، WBAN، Wi-Fi، التداخل.

* مدرس في قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات - كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات - جامعة طرطوس - سوريا
** طالبة دراسات عليا (ماجستير) في قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات - كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات - جامعة طرطوس - سوريا

The effect of burst and exponential probability arrivals models on interference between WBANs and Wi-Fi networks

Dr. Naji Ibrahim Mohamad *
Loujain Mohamad Mousa **

(Received 10/ 8/2020. Accepted 14/ 1/2021)

□ ABSTRACT □

Wireless Body Area Network (WBAN), is composed of a set of tiny wireless devices (sensors) inside or outside the body, which operated in the 2.4GHz ISM band. Wi-Fi networks are ubiquitous and with a large range of coverage, so it is expected that the performance of WBANs will deteriorate due to the interference of their operating channels in the bandwidth (ISM), which causes the loss of transmitted data and the large power consumption for sensor nodes. Therefore, it is critical to reduce interference between WBANs and Wi-Fi networks in order to maintain the efficiency and reliability of the WBAN system. A simple and dynamic method is proposed to send WBAN packets in the interval between Wi-Fi packets by modeling this interval as a pareto distribution, and comparing with the case of exponential distribution of the interval for arrivals poisson operations based on the delay due to the collision and medium busy. The simulation was done using the MATLAB software environment, where the results showed a significant decrease in the delay rate when the time intervals were modeled according to a pareto distribution, compared to the exponential distribution for poisson arrivals.

Key Words: IEEE802.15.4, Poisson distribution, Pareto distribution, WBAN, WI-FI, Interference.

* 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

تقدم شبكة منطقة الجسم اللاسلكية (WBAN) Wireless Body Area Network الكثير من التطبيقات المبتكرة في مجالات مختلفة. تتكون شبكة WBAN من مجموعة من أجهزة الاستشعار داخل أو خارج الجسم، والتي تقوم بمراقبة المؤشرات الحيوية للمرضى بشكل مستمر، مثل درجة الحرارة ومستوى السكر وضغط الدم وغيرها، ومن ثم تقديم البيانات التي تم جمعها إلى المركز الطبي المعني [5]، لكنها تبقى عرضة للتداخل مع الشبكات اللاسلكية الأخرى (ZigBee و Bluetooth و Wi-Fi، إلخ) العاملة في نفس النطاق ISM بتردد 2.4GHz، والتي تستفيد من توفره في جميع أنحاء العالم وعرض النطاق الترددي الكبير، مما يؤدي إلى ازدحام هذا النطاق وتصادم رزم البيانات. تعد Wi-Fi الأكثر تداخلاً من بين التقنيات السابقة نظراً لوجودها في كل مكان وبمدى تغطية متداخل كبير. من المرجح أن يكون المستخدم الذي يحمل شبكة WBAN داخل نطاق شبكة Wi-Fi، وبالتالي سوف تتداخل القنوات الترددية للشبكتين مما يؤدي إلى فقدان البيانات [5]. أظهرت الدراسات التي أجريت في [10][11] أن التداخلات تقلل من موثوقية استقبال الرزمة، وتزيد من تأخير النقل وتستهلك المزيد من الطاقة مما يؤدي إلى تعطيل التشغيل الصحيح لتطبيقات WBAN. من ناحية أخرى، تناولت العديد من الأبحاث السابقة أساليب مختلفة لتخفيف التداخل بين شبكات WBANs وشبكات Wi-Fi، حيث بيّن 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 دون إجراء تحسس للقنوات، مما قد يؤدي إلى التصادم مع شبكة أخرى تختار القناة نفسها. من ناحية أخرى، اقترح الباحثون في [13] آلية تهدف إلى اكتشاف الشبكات المجاورة المتداخلة والتعاون فيما بينها من خلال تشكيل جدولة زمنية مشتركة، لكن أظهرت النتائج ازدياداً في قيم التأخير لأن هذه الآلية تتطلب تبادل معلومات إضافية من أجل تحقيق التزامن والذي يعتبر مهمة صعبة بسبب حركية شبكة WBAN. أيضاً، اعتمد الباحثون في [8][10][12] على آليات تتضمن تعديل بعض البارامترات في طبقة الوصول إلى الوسط MAC مثل (تقليل طاقة الإرسال [10]، تخفيض معدل البيانات [12]، زيادة زمن توليد الرزمة [1][8]... إلخ) والذي يولد قيوداً، حيث بيّنت النتائج أنّ تغيير طاقة الإرسال يزيد من استهلاك الطاقة بشكل كبير، بينما يؤثر تخفيض معدل البيانات على جودة الخدمة لشبكة WBAN، كما يؤدي زيادة زمن توليد الرزم إلى تقليل احتمال التصادم، ولكن لا يمكن تطبيقها على جميع تطبيقات WBAN لأنه يزيد من تأخير الإرسال. بدافع من التحديات المذكورة أعلاه، تم ضمن هذا العمل اقتراح طريقة ديناميكية ومنخفضة التكلفة لتخفيف التداخل تقوم على إرسال رزم WBAN في الفترات الزمنية الفاصلة بين رزم Wi-Fi، من خلال استخدام تابع التوزيع (pareto) لنمذجة هذه الفترات كتوزيع رشقي، والمقارنة مع حالة التوزيع الأسي للزمن الفاصل بين الوصولات من أجل عمليات الوصول التي تتبع توزيع (Poisson) [5]. كما تم دراسة التأخير الناتج عن تصادم رزم البيانات ومشغولية الوسط، حيث أظهرت النتائج قيماً منخفضة للتأخير في حالة توزيع (pareto) بالمقارنة مع توزيع (poisson).

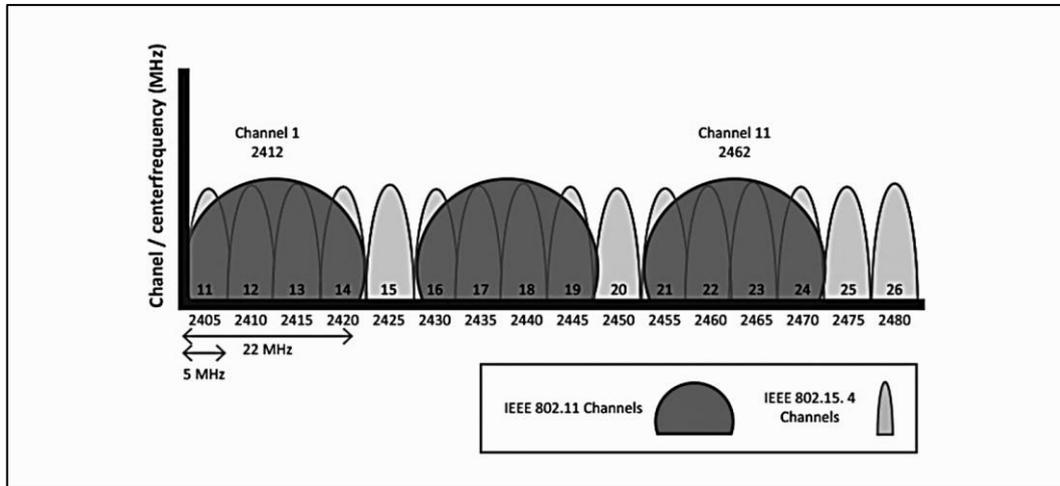
2. أهمية البحث وأهدافه

تبرز أهمية البحث في دراسة تأثير شبكة Wi-Fi المتداخلة على شبكة WBAN، نظراً لوجودها في كل مكان بنطاق تغطية كبير وتحسين موثوقية شبكة WBAN في ظل تداخلات Wi-Fi. وتتجلى أهمية البحث أيضاً في التخفيف من التأخير الذي يحدثه التنافس على القناة والتصادمات بين الرزم المرسلة، من خلال السماح للعقدة بإرسال رشقة من الرزم بمجرد أن تصل إلى القناة وتحجزها بنجاح وذلك في الفترة الزمنية الفاصلة بين وصول رزم Wi-Fi. بغية تحقيق الهدف المطلوب تم دراسة توابع التوزيع poisson و pareto والمقارنة بينهما على أساس التأخير الناتج عن مشغولية الوسط والتصادم.

3. طرائق البحث ومواده

3-1- مشكلة التعايش بين شبكات WBAN وشبكات Wi-Fi

توفر شبكات WBAN خدمات مستمرة دون منع المستخدم من ممارسة أنشطته اليومية، إلا أنه من المرجح أن تعمل بالقرب من شبكة Wi-Fi، مما يؤدي إلى حدوث تداخل بينهما. يوضح الشكل (1) الترددات المركزية والقنوات المتداخلة لكل من IEEE 802.11 و IEEE 802.15.4 حيث نلاحظ أن هناك تداخل كبير بين معظم قنوات المعيارين. عندما تعمل الشبكتان على مقربة من بعضهما البعض، تؤدي عمليات الإرسال المتزامنة إلى تصادم البيانات وفقدانها. تشكل شبكة Wi-Fi تهديداً لشبكات WBAN بما تتمتع به من معدلات النقل العالية وعرض النطاق الترددي الكبير. وبالتالي، فإن إدارة التكامل بين الشبكتين أمر مهم للحفاظ على جودة الخدمة المطلوبة لتطبيق شبكة WBAN منخفضة الطاقة.

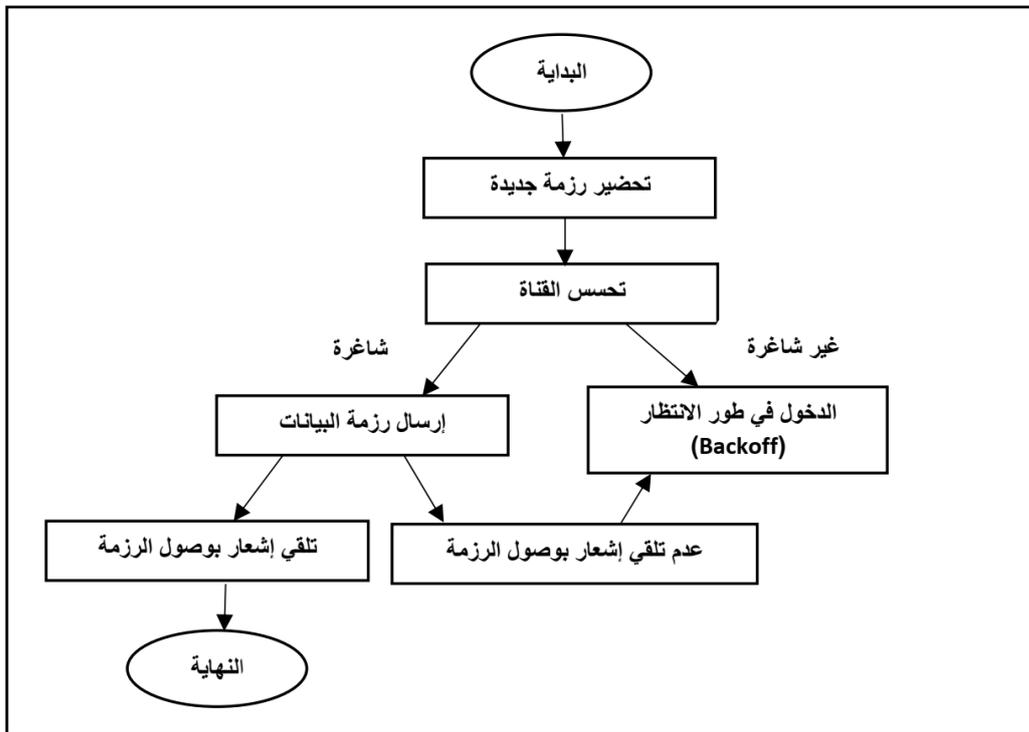


الشكل (1): التداخل بين القنوات الترددية لشبكات WBAN و Wi-Fi في النطاق ISM

3-2- آلية الوصول إلى الوسط MAC في شبكات Wi-Fi / WBAN

توفر طبقة MAC الوصول المنظم إلى النطاق الترددي المشترك (ISM) وذلك لتجنب التصادم بين الرزم. تدعم طبقة MAC الخاصة بـ IEEE802.15.4 وضعين للتشغيل: وضع عدم وجود المنارة -non beacon enabled و وضع المنارة beacon enabled، حيث يتم الوصول إلى الوسط بواسطة آلية CSMA/CA [1]. أثناء تطبيق وضع (non-beacon enabled)، يرى الجهاز الذي يريد إرسال رزمة إذا

كانت القناة شاغرة، وإلا فإنه ينتظر فترة زمنية عشوائية. بينما باستخدام وضع المنارة (beacon enabled)، يجب مزامنة جميع العقد مع المنسق. عند تلقي رسالة المنارة من المنسق، يتم إعلام جميع الأجهزة بمدة (superframe) وزمن ارسال البيانات، ويضمن أن عرض النطاق الترددي للحساسات ذات الأولوية هو (Access Period) CFP (Contention Free Period)، بينما يمكن لعقد الحساسات (non-priority) أن ترسل بشكل عشوائي في الفترة CA. وبالتالي، يمكن فقدانها بسهولة في حالة تداخل Wi-Fi وسيتم تأجيل نقل البيانات إلى الإطار التالي مما يؤدي إلى تأخير أكبر. يعد الوضع (non-beacon enabled) أكثر قابلية للتوسع ولا يحتاج إلى مزامنة ومعالجة مكلفة. علاوة على ذلك، فهو أكثر قوة في وجود تداخل Wi-Fi. يوضح الشكل (2) وصف لآلية عمل خوارزمية CSMA / CA العامة التي تستخدمها الشبكتان [5].



الشكل(2): آلية عمل خوارزمية CSMA/CA

تتمثل ميزة استخدام بروتوكول CSMA / CA في أن الشبكتين تستشعران الوسط قبل الانتقال إلى الإرسال، مما يؤدي إلى تجنب التصادمات والتداخلات. ومع ذلك، فإنه ليس لديهم نفس العملية لحساب مدة backoff وليس لديهم نفس قيم البارامترات لطبقة MAC. عندما تقرر عقدة شبكة WBAN القائمة على CSMA/CA إرسال رزمة بيانات، فإنه تنتظر فترة "TWBANBackoff". تتكون فترة التراجع لشبكة WBAN من الفاصل الزمني "Tslot" مضروب في قيمة يتم انتقاؤها من $[5][2^{BE} - 1]$. في البداية، يبدأ ب BE ب BEmin ويتم زيادته في كل محاولة فاشلة للإرسال حتى الوصول إلى BEmax. عندما تنتهي فترة التراجع وتجد القناة شاغرة خلال فترة (Clear Channel Assessment) "CCA"، تبدأ عقدة WBAN في إرسال الرزمة الخاصة بها. إذا تم إرسالها بشكل صحيح، ستتلقى العقدة إشعاراً بالوصول قبل فترة (SIFS) (Short Interframe Space). إذا انتهت فترة التراجع ووجدت القناة مشغولة، أو إذا لم يتم نقل الرزمة بشكل صحيح، فسيتم زيادة BE و NB (عدد مرات التراجع) بمقدار

(1) وإعادة محاولة عملية التراجع. تبدأ عقدة Wi-Fi الإرسال عندما تجد الوسط شاغراً لمدة (Inter Frame) CW" (Contention Window "DIFS". بخلاف ذلك، فإنها تختار قيمة نافذة التنافس (size) من المجال [1, CWmax] وتنتظر لفترة "TwifiBackoff". يتم تقليل CW بمقدار (1) كلما وجدت عقدة Wi-Fi الوسط شاغراً وتتوقف مؤقتاً عندما يكون مشغول. بعد انتهاء TwifiBackoff، تبدأ عقدة Wi-Fi الإرسال. إذا لم تتلق إشعاراً بالوصول، فستضاعف قيمة CW وتكرر عملية التراجع حتى تحصل على إرسال ناجح (CW تصبح CWmin) أو حتى تصل إلى الحد الأقصى لعدد عمليات إعادة الإرسال (سيتم حذف الرزمة). يبين الجدول (1) بارامترات طبقة MAC لكل من Wi-Fi و WBAN [5]. على الرغم من أن بروتوكول CSMA / CA للشبكتين يمكن أن يتكيف جيداً ويمكن أن يتجنب التصادمات، فإن الاختلافات في قيم البارامترات تجعل Wi-Fi أقل تضرراً من WBAN لأنها تتمتع بحجم أكبر للزمنة، زمن انتظار أقل للوصول إلى الوسط، طاقة الإرسال العالية والإنتاجية العالية [5].

الجدول(1): قيم بارامترات طبقة MAC لكل من Wi-Fi و WBAN

IEEE 802.15.4		IEEE 802.11	
CCA	128 μ s	DIFS	28 μ s
MAC Frame size	512 Bytes	Frame size	11520 Bytes
Tslot	320 μ s	Tslot	9 μ s
BE_{avg}	3	CW_{avg}	8
BE	2 – 5	Data rate	11 to 54 Mbps
NB	0 – 5	SIFS	10 μ s
Data rate	250 Kbps	Ack size	38 Bytes
SIFS	192 μ s	Tx power	100 mW
Ack size	5 Bytes		
Tx power	1.1 mW		

3-3- نموذج التوزيع الاحتمالي Poisson

يعطى تابع الكثافة الاحتمالية الأسي [3] الممثل للفرات الزمنية الفاصلة بين الوصولات من أجل وصول

Poisson بالعلاقة التالية:

$$f_X(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (1)$$

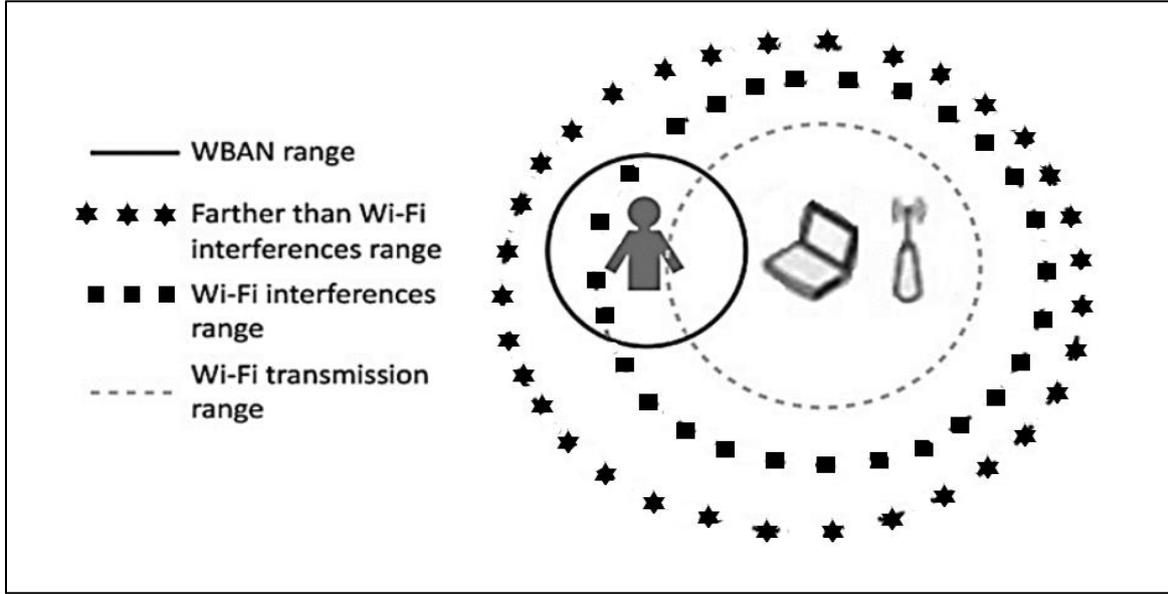
حيث أن الفترات الزمنية بين الوصولات تحدّد وفقاً لمتغيرات عشوائية أسيّة، إذا كانت الوصولات في فترة

زمنية تتم وفق تابع التوزيع Poisson. تم تحديد حالتين لدراسة احتمال نجاح الإرسال في شبكة WBAN تحت تأثير تداخلات Wi-Fi [6]:

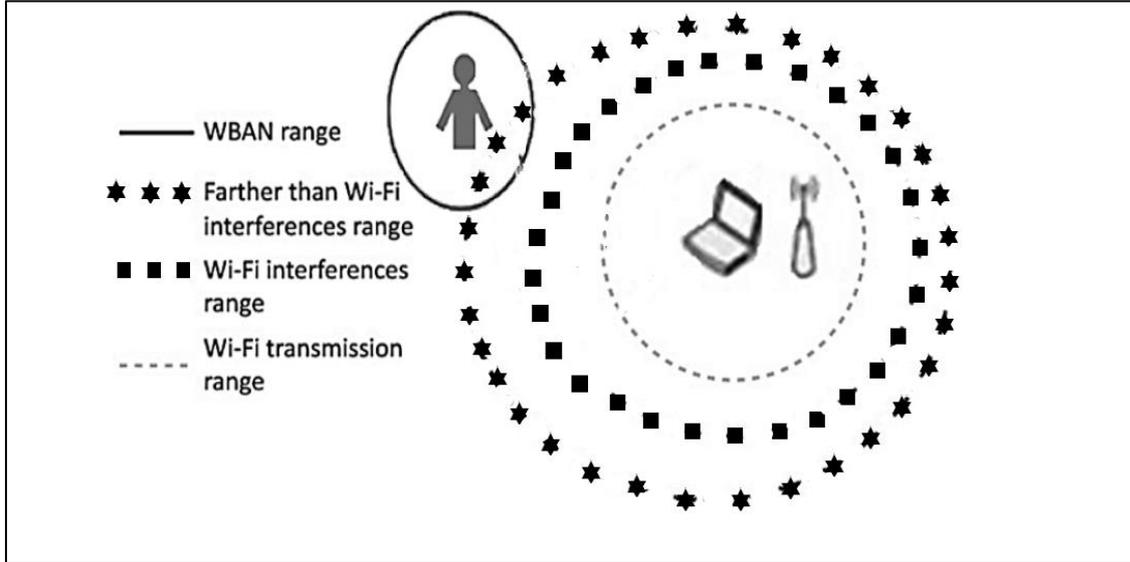
1- الحالة الأولى الموضحة في الشكل (3) والتي تحدث عندما تكون عقدة Wi-Fi قادرة على

تحسس عمليات إرسال WBAN. 2- الحالة الثانية الموضحة في الشكل (4) وتحدث عندما لا تكون عقدة

Wi-Fi قادرة على تحسس عمليات إرسال شبكة WBAN.



الشكل(3): عقدة Wi-Fi قادرة على تحسس إرسالات WBAN لأن الجسم يقع داخل نطاق إرسال شبكة Wi-Fi



الشكل(4): عقدة Wi-Fi غير قادرة على تحسس إرسالات WBAN لأن الجسم بعيد عن نطاق إرسال شبكة Wi-Fi

من أجل نقل رزمة WBAN بنجاح، يجب أن تكون المدة اللازمة لإرسال هذه الرزمة (DWBAN) مساوية للمدة قبل إرسال رزمة Wi-Fi جديدة (DWIFI) [5].

$$DWBAN = DWIFI \quad (2)$$

$$\text{Case 1: } TWBANBackoff + CCA = IT + DIFS + TWIFIBackoff \quad (3)$$

$$\text{Case 2: } TWBANBackoff + CCA + TP + SIFS + Tack = IT + DIFS + TWIFIBackoff$$

حيث: $TWBANBackoff$ هي فترة التراجع التي تنتظرها عقدة WBAN عندما تجد الوسط مشغول، $TWIFIBackoff$ هي فترة التراجع التي تنتظرها عقدة Wi-Fi عندما يكون الوسط مشغول، IT الزمن الفاصل بين وصول رزم Wi-Fi، $DIFS$ الزمن اللازم لتحسس الوسط قبل بدء الإرسال في شبكة Wi-Fi، $SIFS$ الزمن اللازم

لتنقل عقدة WBAN إشعاراً بوصول الرزمة المرسله، CCA الفترة الزمنية اللازمة لتتأكد عقدة WBAN من أن القناة شاغرة، TP الزمن اللازم لإرسال الرزمة.

وفقاً لذلك، تتمتع عقدة WBAN بنجاح في الإرسال عندما يفى الزمن الفاصل بين وصول رزم Wi-Fi $(ITmin)$ بالمعادلتين[5]:

$$\text{Case 1: } ITmin = TWBANBackoff + CCA - DIFS - TWIFIBackoff \quad (4)$$

$$\text{Case 2: } ITmin = TWBANBackoff + CCA + TP + SIFS + Tack - DIFS - TWIFIBackoff$$

$$\text{Case 1: } ITmin = Tslot * (2^{BE} - 1) + CCA - DIFS - Tslotwifi * CW \quad (5)$$

$$\text{Case 2: } ITmin = Tslot * (2^{BE} - 1) + CCA + TP + SIFS + Tack - DIFS - Tslotwifi * CW$$

حيث: $Tslot$ مدة الحيز الزمني لعقد WBAN، $Tslotwifi$ مدة الحيز الزمني لعقد Wi-Fi، CW حجم نافذة التنافس، $Tack$ الزمن اللازم لإرسال إشعار بالوصول (Acknowledgement)، BE عدد المرات اللازمة لإعادة إرسال رزم WBAN الضائعة.

تم نمذجة الزمن الفاصل بين وصول رزم Wi-Fi كتوزيع أسي مع معدل وصول بيانات λ (packet/second)، وبالتالي يعطى احتمال الوصول الناجح للقناة $Psucc$ بواسطة العلاقة [5]:

$$Psucc = \int_{ITmin}^{\infty} \lambda e^{-\lambda t} dt = e^{-\lambda ITmin} \quad (6)$$

يتم صياغة احتمالية الإرسال الناجح لشبكة WBAN في وجود N عقدة Wi-Fi متداخلة على النحو التالي:

$$Psucc(N) = \prod_{i=1}^N e^{-\lambda_i ITmin_i} = e^{-N\lambda ITmin} \quad (7)$$

3-3-1- تأخير إرسال رزم WBAN

يعطى متوسط التأخير \overline{Tmean} بالعلاقة [5]:

$$\overline{Tmean} = \sum_{i=1}^{\infty} T(i) * P(i) \quad (8)$$

$T(i)$ و $P(i)$ هما تأخير إرسال الرزمة واحتمال نجاح الإرسال في المحاولة (i^{th}) على التوالي. يتم

تعريف $T(i)$ و $P(i)$ على النحو التالي[5]:

$$T(i) \left\{ \begin{array}{l} T(1) = T_{succ1} \quad (1^{st} \text{ essay}) \\ T(2) = T_{fail1} + T_{succ2} \quad (2^{nd} \text{ essay}) \\ T(3) = 2 * T_{fail2} + T_{succ3} \quad (3^{rd} \text{ essay}) \\ \vdots \\ T(i) = (i-1)T_{fail(i-1)} + T_{succ(i)} \quad (i^{th} \text{ essay}) \end{array} \right.$$

$$P(i) \left\{ \begin{array}{l} P(1) = 1 - q \quad (1^{st} \text{ essay}) \\ P(2) = q(1 - q) \quad (2^{nd} \text{ essay}) \\ P(3) = q^2(1 - q) \quad (3^{rd} \text{ essay}) \\ \vdots \\ P(i) = q^{(i-1)}(1 - q) \quad (i^{th} \text{ essay}) \end{array} \right.$$

تعتبر T_{succ} و T_{fail} عن زمن محاولة إرسال واحدة في الحالة الناجحة، وفي الحالة الفاشلة على التوالي. q هو احتمال فشل الإرسال.

وفقاً لما سبق، يمكن التعبير عن $\overline{T_{mean}}$ بالمعادلة:

$$\overline{T_{mean}} = (1 - q)T_{succ1} + q(1 - q)(T_{fail1} + T_{succ2}) + q^2(1 - q)(2 * T_{fail2} + T_{succ3}) + q^{(i-1)}(1 - q)((i - 1)T_{fail(i-1)} + T_{succ(i)}) \approx 0$$

$$\overline{T_{mean}} \approx (1 - q)T_{succ1} + q(1 - q)(T_{fail1} + T_{succ2}) \quad (9)$$

وبالتالي يمكن كتابة T_{succ1} و T_{succ2} على النحو الآتي:

$$T_{succ1} = Tslot * (2^{BEinitial} - 1) + CCA + TP + SIFS + Tack \quad (10)$$

$$T_{succ2} = Tslot * (2^{BEinitial+1} - 1) + CCA + TP + SIFS + Tack \quad (11)$$

لتعريف T_{fail1} ، يتم تقديم حالتين [5]:

• **الحالة 1 المعبر عنها بالشكل (3):** في هذه الحالة، يمكن لعقد WBAN وعقد Wi-Fi اكتشاف

إرسال بعضها البعض. بعد ذلك، ستفشل عملية إرسال عقدة WBAN لأنها وجدت القناة مشغولة. وبالتالي، من أجل المحاولة الثانية للإرسال، سيتم زيادة BEinitial بمقدار (1).

• **الحالة 2 المعبر عنها بالشكل (4):** تكون عقدة WBAN وعقد Wi-Fi غير قادرة على اكتشاف

إرسال بعضها البعض. بعد ذلك، ستفشل عملية إرسال عقدة WBAN بسبب تصادم الحزمة وفقدان Ack. وبالتالي، من أجل المحاولة الثانية للإرسال، سيتم زيادة BEinitial بمقدار (1).

وفقاً لذلك، يتم التعبير عن T_{fail1} على النحو الآتي:

$$\text{Case 1: } T_{fail1} = Tslot * (2^{BEinitial} - 1) + CCA$$

$$\text{Case 2: } T_{fail1} =$$

$$Tslot * (2^{BEinitial} - 1) + CCA + TP + SIFS + Tack \quad (12)$$

وبالتالي يصبح $\overline{T_{mean}}$ على الشكل الآتي:

$$\overline{T_{mean}} \approx T_{succ1} + q(T_{fail1} + Tslot * 2^{BEinitial}) \quad (13)$$

3-4- نموذج توزيع Pareto

نظرًا لأن عملية Pareto هي واحدة من توابع الذيل (توابع تنتهي إلى قيم صغيرة جدًا لكنها لا تلامس الصفر) الأكثر اعتمادًا على نطاق واسع، فقد تم اختيار نموذج Pareto ليناسب عملية وصول إطارات Wi-Fi. بفرض أن الزمن الفاصل بين وصول الإطارات ضمن نافذة زمنية T يناسب نموذج Pareto [7]، أي أن:

$$f_x(x) = \begin{cases} \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{\beta}{x}\right)^{\alpha+1} & x \geq \beta \\ 0 & x < \beta \end{cases} \quad (14)$$

حيث α و β هما شكل (shape) ومقياس (scale) نموذج Pareto على التوالي. تُعطى α بالعلاقة [7]:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\lambda - \beta} \quad (15)$$

حيث λ هو معدل الزمن الفاصل بين وصول الإطارات. نفترض أن الفترة الزمنية الفاصلة بين وصول الإطارات مستقلة عن بعضها البعض، واستنادًا إلى نموذج Pareto، نشق احتمال فشل وصول الإطار المرسل مما يساعد على التنبؤ بأداء شبكات WBAN في ظل تداخل شبكات Wi-Fi [7]. يبين الجدول (2) قيم البارامترات الخاصة باحتمالات التأخير لتوزيع Pareto. بفرض أنه لدينا مجموعة من k محطة Wi-Fi تتشارك القناة نفسها ويرمز لها بـ $\mathcal{B} = \{\mathcal{B}_i, i = 1 \dots k\}$ ، يتم تحديد القناة لمُرسل WBAN بواسطة α, β ، u, ω ، حيث ω هي نسبة الزمن الفاصل بين الوصولات من زمن القناة، و u هي نسبة استخدام القناة من \mathcal{B} . بالنسبة لإطار WBAN، يكون احتمال بدء الإرسال بنجاح بين إطارين Wi-Fi هو جزء من إجمالي الزمن الكلي للقناة ويعطى بالعلاقة [7]:

$$p_a = \frac{w}{1-u} \quad (16)$$

باعتبار أن احتمال وجود القناة مشغولة بعد وصول رزمة WBAN هو u وذلك من أجل الحالة المعبر عنها بالشكل (3)، يعطى احتمال التأخير الناتج عن مشغولية القناة بالعلاقة [7]:

$$C(\tau) > 1 - \left(\frac{\beta D u}{\tau} + \frac{1-u}{\alpha} \right) \left(\frac{\beta D}{\tau} \right)^{\alpha-1} \quad (17)$$

من أجل $\alpha = \frac{\lambda}{\lambda - \beta}$ و $p_a = \frac{w}{1-u} < 1$:

$$C(\tau) > 1 - \left(1 + \left(\frac{\beta D}{\tau} - 1 \right) u \right) \left(\frac{\beta D}{\tau} \right)^{\frac{\beta}{\lambda - \beta}} \quad (18)$$

حيث τ هي حجم الرزمة و D هي معدل المعطيات.

يعتمد احتمال التصادم على الفاصل الزمني (lifetime) بين إطارين Wi-Fi وذلك عند بدء إرسال WBAN. في الحالة المعبر عنها بالشكل (4)، يحدث التصادم لأن كلا الشبكتين غير قادر على تحسس الآخر ويكون lifetime أقصر من الزمن اللازم لإرسال إطار WBAN، وبالتالي يعطى احتمال التصادم بالعلاقة [7]:

$$C(\tau) > \mathcal{F} \left(\frac{\tau}{D} \right) = 1 - \left(\frac{\beta}{\tau} \right)^{-\alpha} \quad (19)$$

حيث \mathcal{F} هو تابع الكثافة التراكمي (CDF) لتوزيع Pareto.

باعتبار أن أزمان عملية الوصول لـ k إطار هي $X = \{X_1, \dots, X_k\}$ وكان $L = \{l_1, \dots, l_k\}$ حيث l_i هو الزمن الفاصل بين X_{i-1} و X_i وأن عدد الإطارات يتراوح من $1 \rightarrow \infty$ وبالتالي يعطى احتمال التأخير الناتج عن التصادم من خلال [7]:

$$C(\tau) = \frac{\int_0^{\infty} \min\left\{\frac{\tau}{D}, l\right\} f_p(l) dl}{\int_0^{\infty} l f(l) dl} = 1 - \frac{1}{\alpha} \left(\frac{\beta D}{\tau}\right)^{\alpha-1} \quad (20)$$

حيث f هو تابع الكثافة الاحتمالي (PDF) لتوزيع pareto.

الجدول (2): قيم البارامترات الخاصة باحتمالات التأخير لتوزيع pareto

α	1-2
β	3
τ	1440 Byte
D	250 kbps
U	0.2-0.5

إن المساهم الرئيسي في التأخير ضمن الشبكات هو التأخير الذي يحدثه تنافس القناة [9]، وبالتالي يمكن تقليل هذا التأخير بدلاً من إرسال رزمة واحدة فقط، إذ يُسمح للعقدة بإرسال رشقة من الرزم بمجرد أن تصل إلى القناة وتحجزها بنجاح مما يقلل من التأخير الناتج عن التنافس بعامل $(N_m - 1)$ حيث N_m هو حجم الرشقة ويعطى بالعلاقة:

$$N_m = \frac{\sigma t}{A} \quad (21)$$

حيث: σ معدل الدفقة الاعظمي (bps)، A متوسط طول الرزمة (bits).

بشرط أن يكون هناك وصول، يتم إعطاء متوسط عدد الرزم التي يمكن ان ترسلها العقدة في الرشقة خلال الفترة الزمنية t بالعلاقة:

$$N_a = \frac{\rho_a t}{A} \quad (22)$$

حيث ρ_a هو متوسط معدل المعطيات (bps). وبالتالي:

$$\beta = \frac{t}{N_m} = \frac{A}{\sigma}, \quad \alpha = \frac{\sigma}{\sigma - \rho_a} \quad (23)$$

4. النتائج والمناقشة

تم دراسة تأثير التداخل المحتمل لشبكة Wi-Fi على شبكة WBAN وإثبات فعالية الطريقة المقترحة في تحسين موثوقية شبكة WBAN. تم تنفيذ العمل باستخدام البيئة البرمجية (MATLAB(R2018b)، واعتماد البارامترات الافتراضية لشبكات Wi-Fi و WBAN الواردة في الجداول (1) و(2) وذلك لكل من التوزيعات الاحتمالية (poisson, pareto)، حيث أنه في توزيع pareto، تتراوح قيم العامل α ضمن المجال (1-2)، ولكن من أجل ضمان الحصول على أفضل القيم لمعدل التأخير، تم ضبط قيمة α إلى (1.3) لتناسب الأحجام المختلفة للبيانات المرسله [2]. كما تم ضبط عدد عقد الاستشعار في شبكة WBAN إلى (10) عقد. في شبكة Wi-Fi، تم ضبط حجم الرزمة إلى (1440 byte) حيث تعمل الشبكة تحت الحمل الأقصى المتاحة. تقوم عقد WBAN وعقد Wi-Fi بشكل

دوري بإنشاء رسائل بث لتحديد الزمن الفاصل بين إرسال الرزم (Inter-Departure time). على سبيل المثال، يكون الزمن الفاصل بين الإرسال لرزم تطبيق electrocardiogram (ECG) هو (0.004 s) من أجل معدل أخذ العينات (250Hz). علاوة على ذلك، تم ضبط قيم CCA و Tslot إلى (64 μ s, 160 μ s) على التوالي وفقاً لمتطلبات تطبيق WBAN [5].

تم تجزئة العمل إلى سيناريوهين:

1. السيناريو الأول: تكون شبكة Wi-Fi قريبة وقادرة على الاستماع إلى إرسال شبكة WBAN كما هو موضح في الشكل (3). أثناء إرسال عقدة WBAN، تتحسس عقدة Wi-Fi الوسط، وتجده مشغولاً وتنتظر حتى تكتمل عملية الإرسال الجارية.

2. السيناريو الثاني: تكون شبكة Wi-Fi بعيدة ولا يمكنها الاستماع إلى إرسال WBAN كما هو موضح في الشكل (4). لا تتمكن عقدة Wi-Fi من اكتشاف عمليات الإرسال الخاصة بـ WBAN. وبالتالي، يحدث التصادم عندما ترسل الشبكتان عبر القناة اللاسلكية في نفس الوقت. لن تتأثر رزمة Wi-Fi بشدة برزمة WBAN وتعتبرها ضجيج، لأنها تستخدم حجم الرزمة الأكبر وقدرة الإرسال الأعلى. في المقابل، ستتأثر رزمة WBAN وتسقط.

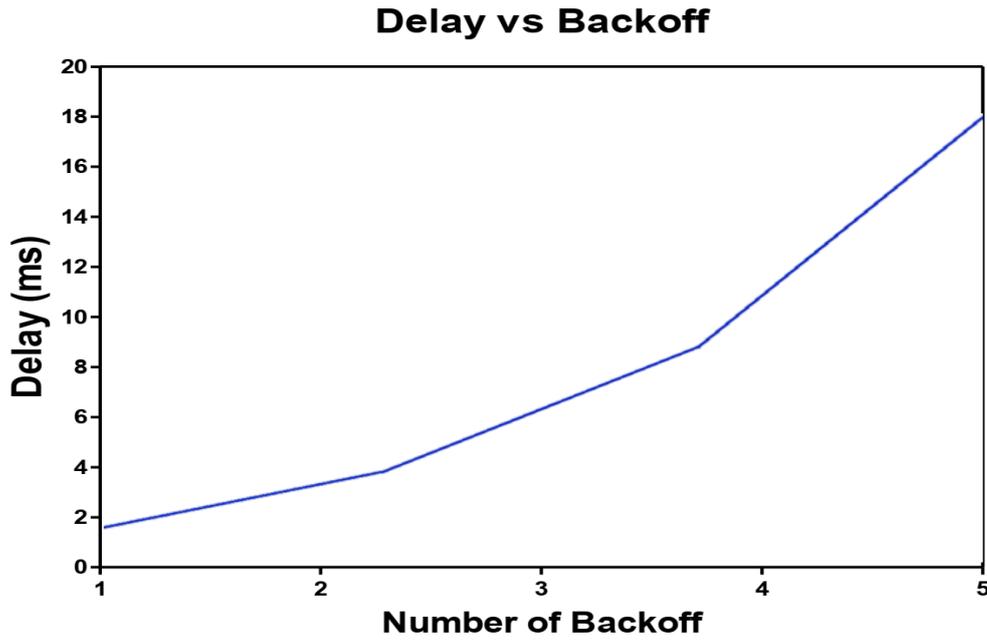
في كلا السيناريوهين تم نمذجة الفواصل الزمنية بين الوصولات كتوزيع رشيقي (pareto) وتوزيع أسي من أجل وصول (poisson)، وذلك لتخفيف التداخل من خلال إرسال رزم WBAN في الفترات الزمنية الفاصلة بين رزم Wi-Fi، ومن ثم المقارنة بينهما اعتماداً على:

• قياس التأخير الناتج عن مشغولية الوسط من أجل السيناريو الأول (الحالة الأولى) الموضح في الشكل (3).

• قياس التأخير الناتج عن تصادم الرزم من أجل السيناريو الثاني (الحالة الثانية) الموضح في الشكل (4).

4-1 معدل التأخير الناتج عن مشغولية وسط الإرسال

يوضح الشكل (5) متوسط التأخير لإرسال رزم WBAN الناتج عن مشغولية الوسط عندما تتواجد شبكة WBAN داخل نطاق تغطية شبكة Wi-Fi، وذلك من أجل عدد من عمليات التراجع خلال الفواصل الزمنية الممثلة كتوزيع أسي من أجل وصول poisson.

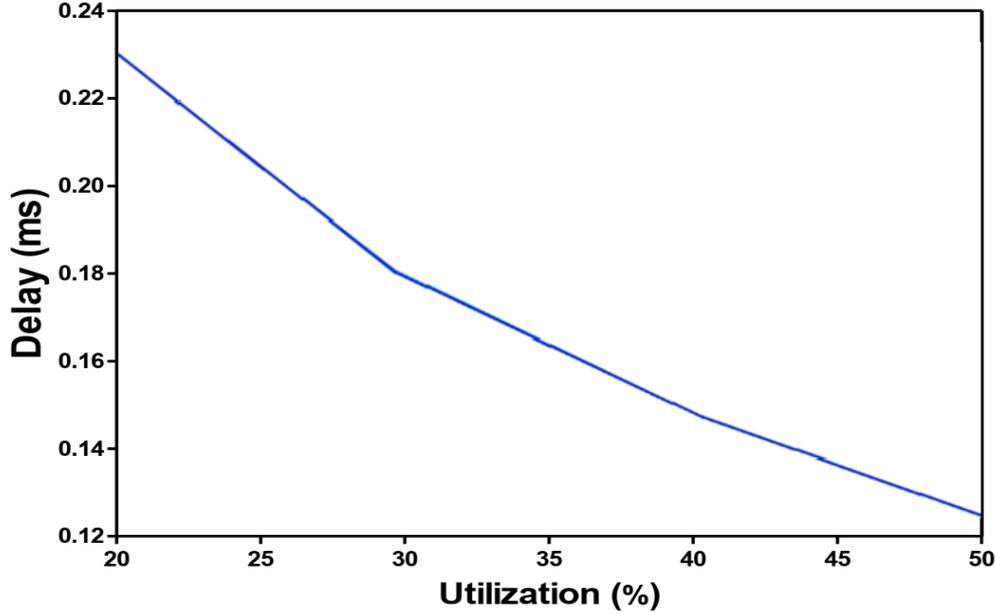


الشكل (5): متوسط التأخير لإرسال رزم WBAN الناتج عن مشغولية الوسط من أجل عدد من عمليات backoff خلال الفاصل الزمني وفقاً لتوزيع poisson

يبين الشكل زيادةً في التأخير مع ازدياد عدد مرات التراجع (backoff) على الرغم من أنه بإمكان الشبكتين الاستماع إلى بعضهما البعض، إلا أن تابع التوزيع الاحتمالي بواسون (Poisson) يمتاز بوصول واحد فقط خلال فترة زمنية متناهية في الصغر، أي أنه عندما تصل عقدة WBAN إلى الوسط وتجد القناة شاغرة، سوف تُرسل البيانات رزمة تلو الأخرى خلال فواصل زمنية مختلفة. من ناحية أخرى، تحتوي عقد Wi-Fi على فترات انتظار أقصر (DIFS=28 μ s [5])، مما يجعلها الأسرع في الوصول إلى القناة بالمقارنة مع عقد WBAN ذات فترات الانتظار الطويلة (CCA=160 μ s [5])؛ إن تخفيض مدة CCA قد يحسن من تأخير الإرسال، لكنه بالمقابل يزيد من عدد الرزم المسقطة وعدد مرات التراجع، لأنه بعد انتهاء CCA، من المرجح أن يكون الوسط مشغول بسبب طول فترة الانتشار للرزم ذات الأحجام المختلفة).

يوضح الشكل (6) متوسط التأخير لإرسال رزم WBAN الناتج عن مشغولية وسط الإرسال من أجل نسب مختلفة من استخدام القناة (utilization of channel) خلال الفواصل الزمنية الممثلة كتوزيع رشيقي (pareto) وذلك عندما تتواجد شبكة WBAN داخل نطاق تغطية شبكة Wi-Fi.

Delay vs Utilization



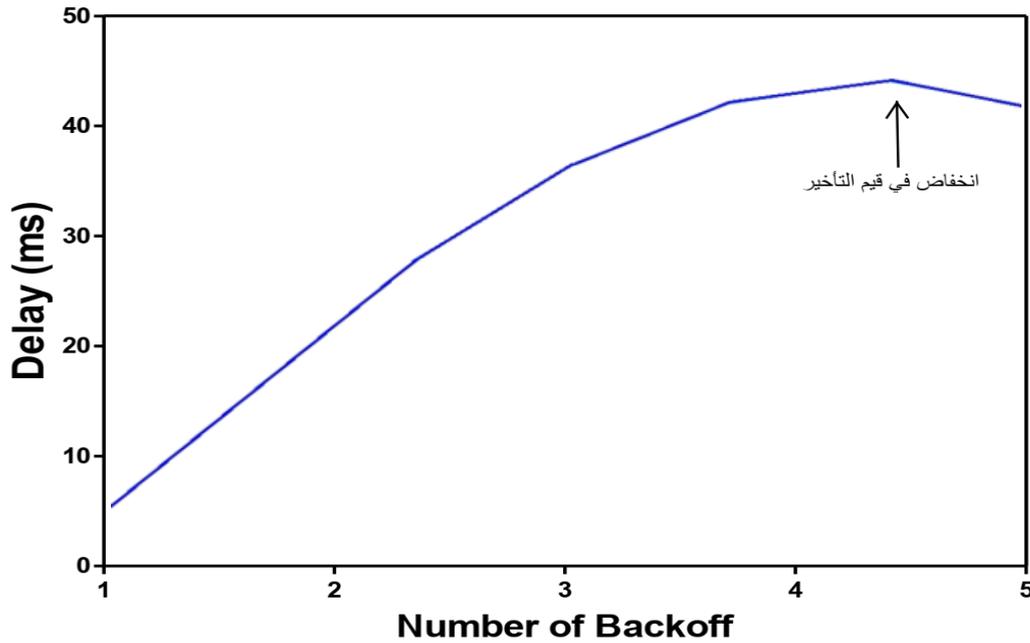
الشكل (6): متوسط التأخير لإرسال رزم WBAN الناتج عن مشغولية الوسط من أجل نسب مختلفة من utilization خلال الفاصل الزمني وفقاً لتوزيع pareto

من المعوقات و السلبيات التي تعاني منها التوابع الأسية الممثلة للفواصل بين الوصولات أنها لا تتضمن الخصائص و السمات الهامة للحركة و من أهمها الوصول الرشقي بدلاً من وصول وحيد (poisson). يتميز توزيع pareto بوصولات رشقية خلال فترات زمنية منقطعة و بشكل متشابه و مستقل حيث يُسمح للعقدة بإرسال رشقة من الرزم بمجرد أن تصل إلى القناة وتحجزها بنجاح مما يقلل من التأخير الناتج عن التنافس على القناة بعامل $(N_m - 1)$ حيث N_m هو حجم الرشقة، كما هو موضح في الشكل (6) والذي يبيّن تناقص تدريجي في قيم التأخير على الرغم من تزايد مشغولية القناة u في المجال (20-50 %).

2-4 معدل التأخير الناتج عن التصادم في وسط الإرسال

يوضح الشكل (7) متوسط التأخير لإرسال رزم WBAN الناتج عن تصادم الرزم المرسل عبر الوسط عندما تكون شبكة WBAN خارج نطاق تغطية شبكة Wi-Fi وذلك من أجل عدد من عمليات التراجع خلال الفواصل الزمنية الممثلة كتوزيع أسي من أجل وصول poisson.

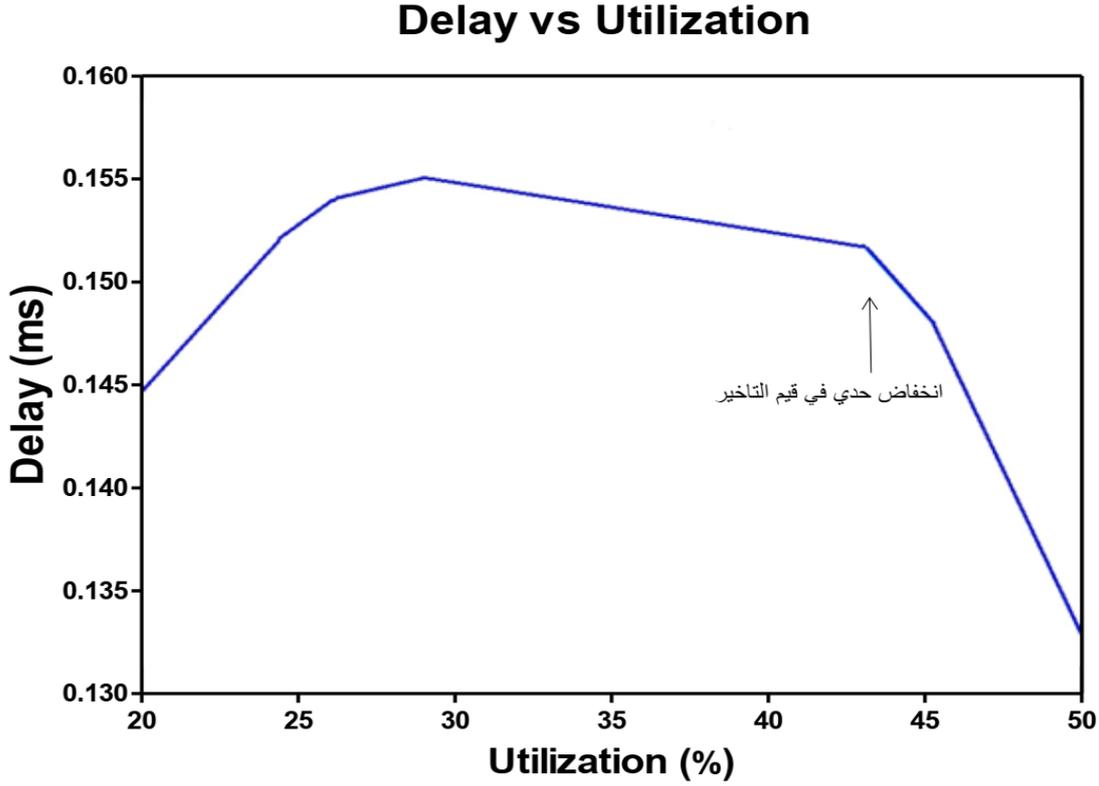
Delay vs Backoff



الشكل (7): متوسط التأخير لإرسال رزم WBAN الناتج عن تصادم الرزم في الوسط من أجل عدد من عمليات backoff خلال الفاصل الزمني وفقاً لتوزيع poisson

عندما تكون شبكة WBAN خارج نطاق شبكة Wi-Fi، يحدث تصادم بين رزم البيانات للشبكتين، لأن كلاهما غير قادر على سماع الآخر. كما ذكرنا سابقاً، عندما يتم نمذجة الفواصل الزمنية بين الوصولات كتتابع أسية من أجل وصول (poisson)، يكون لدينا إرسال واحد فقط للزمنة خلال الحيز الزمني وبالتالي سوف يكون هناك تأخير كبير مع ازدياد عدد مرات التراجع كما يبين الشكل (7)، كون شبكة WBAN غير قادرة على اكتشاف التداخل. من ناحية أخرى، كلا الشبكتين لا يملك نفس الإجراءات اللازمة لحساب فترة الانتظار وليس لديهم نفس قيم بارامترات طبقة MAC، هذه الاختلافات تجعل شبكة Wi-Fi ذات أولوية أعلى للوصول إلى الوسط نظراً لما تتمتع به من زمن انتظار أصغر، أي أن عدد التراجع الخاص بها يصل إلى الصفر في وقت سابق عن عداد التراجع الذي تستخدمه WBAN. بالإضافة إلى ذلك، فإن ارتفاع معدل الحركة لشبكة Wi-Fi (High Traffic Wi-Fi) يزيد من مستوى التداخل، مما يؤدي إلى زيادة احتمال التصادم بين رزم البيانات (عندما يزيد معدل الحركة عن 500 Packet/Second، تكون هناك فرصة ضئيلة جداً لإمكانية تحديد مواقع الحيزات الشاغرة idle slots بسبب دورة العمل العالية لنظام [5]Wi-Fi). عندما تقترب عقد WBAN من الحد الأقصى لعدد مرات التراجع (NB=5) وتجد القناة شاغرة (أي لا يوجد رزم جاهزة للإرسال لدى عقد Wi-Fi)، فإنها تقوم بإرسال رزم البيانات في الحيزات الزمنية المخصصة، وهذا ما يفسر الانخفاض في قيم التأخير كما يوضح الشكل (7). على العكس من ذلك، عندما تكون القناة مشغولة و NB=5، سوف يتم إسقاط الرزم المرسل.

يوضح الشكل (8) متوسط التأخير لإرسال رزم WBAN الناتج عن تصادم الرزم المرسل من أجل نسب مختلفة من استخدام القناة (utilization of channel) خلال الفواصل الزمنية الممثلة كتوزيع رشقي (pareto) وذلك عندما تكون شبكة WBAN خارج نطاق تغطية شبكة Wi-Fi.



الشكل (8): متوسط التأخير لإرسال رزم WBAN الناتج عن تصادم الرزم في الوسط من أجل نسب مختلفة من utilization خلال الفاصل الزمني وفقاً لتوزيع pareto

يبين الشكل (8) في البداية ارتفاعاً تدريجياً في قيم التأخير بسبب حدوث تصادم بين رزم البيانات لعقد WBAN وعقد Wi-Fi، ويعود السبب في ذلك إلى أن كلا الشبكتين غير قادر على تحسس الآخر، وأن الزمن اللازم لإرسال إطار WBAN أكبر من الفاصل الزمني بين إطاريين Wi-Fi، وهذا يعتمد على الزمن المستغرق في التنافس على القناة. وبالتالي، يمكن تقليل هذا التأخير من خلال السماح لعقد WBAN بتجميع رزم البيانات في الرتل الخاص بها (Buffer) عندما يكون الوسط مشغول، ومن ثم إرسال رشقة أو عدة رشقات من الرزم بمجرد أن تصل إلى القناة الشاغرة وتحجزها بنجاح، بدلاً من إرسال رزمة واحدة كما في توزيع poisson، حيث يتوافق طول كل حيز مع الزمن اللازم لإرسال الرشقة. من ناحية أخرى، إن الاختيار المناسب لقيم المعامل α ($\alpha = 1.3$ [2])، يمكن عقد WBAN من توليد رشقات بأحجام مختلفة (أي إرسال أكبر عدد ممكن من الرزم ضمن الرشقة بمجرد حجز القناة) مع الحفاظ على قيم منخفضة نسبياً لمعدل التأخير، وهذا ما يفسر التناقص الحدي في قيم التأخير كما يوضح الشكل (8).

5. الاستنتاجات والتوصيات

1. اعتمد البحث في اقتراح النهج المتبع على الانطلاق من نقاط الضعف الأساسية في الدراسات السابقة، والتي كانت تحاول اعتماد أساليب تتطلب اتصالات مكلفة أو تركيب معدات إضافية أو تعديل بعض بارامترات طبقة MAC والتي تؤثر سلباً على جودة الخدمة وتزيد من استهلاك الطاقة وتأخير الإرسال واحتمال تصادم الرزم.
 2. تم استخدام تقنية IEEE802.15.4 من أجل شبكة WBAN واعتماد بروتوكول CSMA / CA (non-beacon) إذ يعد أكثر قابلية للتوسع ولا يحتاج إلى مزامنة ومعالجة مكلفة، حيث تتمثل ميزة استخدام بروتوكول CSMA / CA في أن الشبكتين تستشعران الوسط قبل الإرسال، مما يتجنب التصادمات والتداخل. ومع ذلك، لا يزال يحدث تصادم للبيانات بين الشبكتين لأنه ليس لديهم نفس قيم بارامترات طبقة MAC.
 3. يعد إرسال رزم WBAN في الفترة الزمنية الفاصلة بين رزم Wi-Fi طريقة بسيطة وغير معقدة تساعد على تحسين تواجد الشبكتين بنفس المكان وذلك من خلال استخدام تابع التوزيع (pareto) لنمذجة الفترات الفاصلة بين الوصولات كتوزيع رشقي والمقارنة مع حالة التوزيع الأسي من أجل وصول (poisson)، بالإضافة إلى دراسة وقياس التأخير الناتج عن تصادم رزم البيانات ومشغولية الوسط.
 4. للتأكد من فعالية الطريقة المقترحة قمنا بإجراء محاكاة باستخدام البيئة البرمجية MATLAB، والمقارنة بين الخطوط البيانية الناتجة، ويمكن أن نجمل الاستنتاجات التي توصلنا إليها وفق ما يلي:
 - في حالة وجود شبكة WBAN داخل نطاق تغطية شبكة Wi-Fi، أظهرت الطريقة المقترحة أن متوسط تأخير الإرسال لشبكة WBAN يتناقص بشكل تدريجي عند نمذجة الفواصل الزمنية وفق توزيع pareto حتى في ظل وجود عدد أكبر من عقد Wi-Fi بالمقارنة مع التوزيع الأسي الذي يفقد للخصائص والسمات الهامة للحركة و من أهمها الوصول الرشقي بدلاً من وصول وحيد (poisson).
 - في حالة وجود شبكة WBAN خارج نطاق تغطية شبكة Wi-Fi، بينت الطريقة المقترحة أن متوسط التأخير قد تحسن بدرجة كبيرة وفق توزيع pareto الممثل للفواصل الزمنية بين الوصولات بالمقارنة مع التوزيع الأسي مما يقلل من عدد الرزم الضائعة والتي تم إسقاطها نتيجة التصادم، لأنه يسمح للعقدة بإرسال رشقات من الرزم المخزنة بمجرد أن تصل إلى القناة وتحجزها بنجاح بدلاً من إرسال رزمة واحدة فقط كما في توزيع poisson.
- ومن التوصيات المستقبلية:**
- لم تأخذ المنهجية المقترحة بعين الاعتبار تأثيرات تظليل الجسم وحركته على موثوقية شبكة WBAN والتي تعد مهمة في هذا الجانب.
 - لم يتطرق العمل لموضوع الطاقة المستهلكة في الشبكة وهل حسنتها الطريقة المقترحة أم لا وهذا أحد المواضيع الهامة أيضاً والتي يجب أن تأخذ في الحسبان.

6. المراجع

- [1] جمال خليفة. (2015). "تحسين أداء شبكات الحساسات اللاسلكية الطبية في مراقبة المرضى في أجنحة العناية الصحية"، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية- سلسلة العلوم الهندسية، (228-211)، 37(2).
- [2] حسن عباس، هيثم الرضوان ، ناجي محمد. (2008). "تأثير النمط المولد لحجم الملف على معدل التأخير في شبكات WAN"، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية- سلسلة العلوم الهندسية، (71-91)، 30(5).
- [3] ناجي محمد. (2019). "تأثير أنماط الوصول العشوائية على الطبيعة الرشقية للحركة في الأرتال المقطعة زمنياً"، مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية- سلسلة العلوم الهندسية، (69-55)، 3(3).
- [4] Astrin, A. (2012). *IEEE standard for local and metropolitan area networks part 15.6: Wireless body area networks*. IE EE Std 802.15. 6.
- [5] Essafi, S., & Ezzedine, T. (2018). *Adaptive parameters adjustment in WBAN to mitigate Wi-Fi interferences*. Journal of computing and information technology, 26(2), 69-83.
- [6] Hayajneh, T., Almashaqbeh, G., Ullah, S., & Vasilakos, A. V. (2014). *A survey of wireless technologies coexistence in WBAN: analysis and open research issues*. Wireless Networks, 20(8), 2165-2199.
- [7] Huang, J., Xing, G., Zhou, G., & Zhou, R. (2010, October). Beyond co-existence: *Exploiting WiFi white space for Zigbee performance assurance*. In *The 18th IEEE International Conference on Network Protocols* (pp. 305-314). IEEE.
- [8] Tang, Y., Wang, Z., Du, T., Makrakis, D., & Mouftah, H. T. (2013, January). *Study of clear channel assessment mechanism for ZigBee packet transmission under Wi-Fi interference*. In *2013 IEEE 10th Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)* (pp. 765-768). IEEE.
- [9] Tickoo, O., & Sikdar, B. (2004, March). *Queueing analysis and delay mitigation in IEEE 802.11 random access MAC based wireless networks*. In *IEEE INFOCOM 2004* (Vol. 2, pp. 1404-1413). IEEE.
- [10] Sarra, E., Benayoune, S., Moun gla, H., & Mehaoua, A. (2014, June). *Coexistence improvement of wearable body area network (WBAN) in medical environment*. In *2014 IEEE international conference on communications (ICC)* (pp. 5694-5699). IEEE.
- [11] Sarra, E., & Ezzedine, T. (2016, September). *Performance improvement of the wireless body area network (WBAN) under interferences*. In *2016 IEEE 18th international conference on e-health networking, applications and services (Healthcom)* (pp. 1-6). IEEE.
- [12] Yang, W. B., & Sayrafian-Pour, K. (2012). *Interference mitigation using adaptive schemes in body area networks*. International Journal of Wireless Information Networks, 19(3), 193-200.
- [13] Zou, M., Lu, J. L., Yang, F., Malaspina, M., Theoleyre, F., & Wu, M. Y. (2016, July). *Distributed scheduling of enhanced beacons for IEEE802. 15.4-TSCH body area networks*. In *International Conference on Ad-Hoc Networks and Wireless* (pp. 3-16). Springer, Cham.