

تقييم أثر التداخل على أداء شبكات WBANs المتحركة و التنبؤ ببارامترات الشبكة

د.م. ناجي ابراهيم محمد *

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٣/٥/٤ . قُبل للنشر في ٢٠٢٣/٩/١٠)

□ ملخص □

يعد مجال الرعاية الصحية (أو الطبية) من أهم تلك التطبيقات وأحدثها من خلال التطوير الأخير لمعيار IEEE 802.15.6 على وجه التحديد لتلبية الاحتياجات الخاصة لشبكة WBAN. تعمل معظم شبكات WBAN ضمن المجال (ISM) ويشكل هذا تحديًا فيما يتعلق بالتداخل و التداخل البيئي للقناة وخاصة في المناطق ذات الكثافة و الحركية العالية. اعتمد هذا البحث أسلوب البحث الكمي حيث سعى إلى استخدام البيانات الإحصائية الكمية من النتائج التجريبية (المحاكاة) لاستخلاص النتائج و تحليل و التنبؤ بالقيم المستقبلية عند وجود تداخل بين شبكات WBANs. تم تحديد هدفين ، ركز الهدف الأول على تحديد آثار زيادة التنقل وكثافة شبكات WBAN والشبكات المتداخلة على WBAN تم تحقيق هذا الهدف من خلال دراسة محاكاة لتقييم أداء شبكة WBAN الحالية من خلال تبيان كيف أثرت الزيادة في شبكة WBAN . بينما ركز الهدف الثاني تحديد التابع الذي يسلكه منحنى التأخير ، معدل تدفق البيانات و فاعلية عرض الحزمة بهدف التنبؤ بقيم البارامترات عند عدد محدد من الشبكات فمن أجل عدد شبكات WBAN . تم العمل باستخدام المحاكى NS2.

الكلمات المفتاحية: شبكات WBAN ، التداخل ، التأخير ، معدل التدفق ، فاعلية عرض الحزمة

Evaluating the effect of interference on the performance of mobile WBANs and predicting network parameters

Dr. Naji Ibrahim Mohamad *

(Received 4/5/2023 . Accepted 10/9/2023)

□ ABSTRACT

The healthcare (or medical) field is one of the most important and recent applications with the recent development of IEEE 802.15.6 specifically to meet the specific needs of WBAN. Most WBANs operate within the ISM band, and this poses a challenge with regard to channel interference and crosstalk, especially in areas with high traffic density. This research adopted a quantitative research method, as it sought to use quantitative statistical data from experimental results (simulation) to draw conclusions, analyze and predict future values when there is overlap between WBANs. Two objectives were identified, the first objective focused on determining the effects of increased mobility and the density of WBANs and mesh networks on WBAN. While the second objective focused on determining the function followed by the delay curve, the throughput and the effectiveness of the bandwidth in order to predict the values of the parameters at a specific number of networks, for the number of WBAN networks.

Keywords: WBANs, interference, delay, flow rate, effective bandwidth

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

١ - المقدمة:

شهد مجال شبكات الاستشعار اللاسلكية (WSNs) ثورة هائلة وتم اعتماده على نطاق واسع في العديد من تطبيقات اليوم بسبب الطلب المتزايد على التكنولوجيا الذكية وزيادة الحاجة إلى تكييفه مع إنترنت الأشياء (IoT). تشمل بعض هذه المجالات الصناعة ، و أتمتة المباني ، والنقل ، والبيئة والطقس ، والأمن ، وإدارة الحياة البرية ، والطب والرعاية الصحية وغيرها. يعد مجال الرعاية الصحية (أو الطبية) من أهم تلك التطبيقات وأحدثها من خلال التطوير الأخير لمعيار IEEE 802.15.6 على وجه التحديد لتلبية الاحتياجات الخاصة لشبكة WBAN [2] [1]. تم تصميم شبكات WBAN فقط لتلبية الاحتياجات الخاصة لشبكات استشعار منطقة الجسم اللاسلكية مثل الطاقة المنخفضة والتكلفة المنخفضة والتعقيد المنخفض والإنتاجية العالية والاتصالات اللاسلكية قصيرة المدى داخل وحول جسم الإنسان[3].

٢ - أهمية البحث أهدافه:

تتمثل الطريقة التشغيلية لشبكات WBAN في وضع عدد قليل من عقد التحسس في الجسم أو حوله ، ومن المفترض أن تعمل في ظروف محدودة مع توفير أداء عالٍ من حيث عمر الشبكة ، الإنتاجية العالية ، الموثوقية العالية للبيانات ، الحد الأدنى أو بدون تأخير واستهلاك منخفض للطاقة (بسبب صغر حجم عقد التحسس). ويرجع ذلك إلى اعتماد WBAN في التطبيقات الطبية في تطبيقات إنقاذ الحياة حيث تراقب شبكة مستشعرات الجسم سلوكيات وعلامات الجسم الفيزيولوجية الحيوية ، وتبلغ عن ذلك إلى نظام مراقبة صحي مركزي أو عن بعد .وهذا يعني لشبكة WBAN من أجل إنقاذ حياة المريض لا بد من توافر موثوقية وجودة الخدمة (QoS) . تعمل معظم شبكات WBAN ضمن المجال (ISM: Industrial ,Scientific and Medical) ضيق النطاق (NB: Narrow Band) اللاسلكي(2.4GHz) ، و يشكل هذا تحدياً فيما يتعلق بالتداخل و التداخل البيئي للقناة وخاصة في المناطق ذات الكثافة و الحركية العالية. كذلك تؤثر حركة جسم الإنسان على المسافات والتوصيلات بين عقد الاستشعار المختلفة داخل الجسم. فكان لا بد من دراسة أداء شبكات WBAN من خلال تقييم بارامترات كفاءة عرض النطاق ، ومعدل التدفق ، والتأخير عند حركية المرضى[8][7].

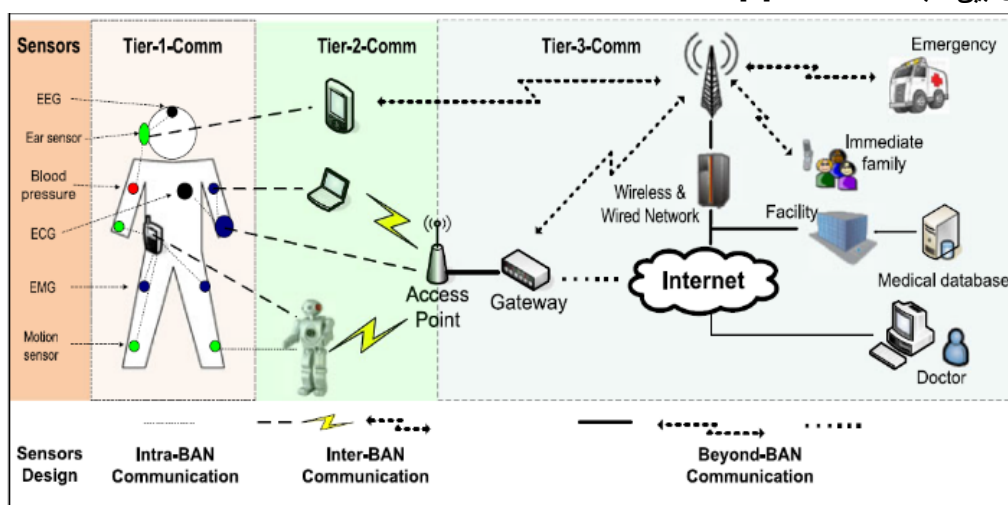
٣- طرائق البحث ومواده:

يتناول هذا البحث تبيان أثر التداخل بين شبكات WBAN التي تعمل وفقاً لتقنية IEEE 802.15.6 و تقييم بارامترات الأداء و من ثم التنبؤ بقيم بارامترات الشبكة عند زيادة عدد شبكات WBAN. حيث يعد الانتشار الراديوي في شبكات WBAN ديناميكي لأن جسم الإنسان متحرك ، كما أن أجهزة الاستشعار المرتبطة بأجزاء مختلفة من الجسم متحركة أيضاً ضمن نطاق محدود .هذا يعني في تلك الحالة يكون التداخل ضمن نفس WBAN و التداخل مع شبكات الأخرى يؤثر بشكل كبير على نقل البيانات .أيضاً ، في بيئات مثل مراكز الرعاية الصحية ، حيث يتم استخدام العديد من شبكات WBAN لمراقبة المرضى ، وفي الأماكن العامة الأخرى حيث قد يقترب الأشخاص الذين لديهم WBAN من نطاقات أخرى باستخدام نفس النطاق الترددي ، فإن احتمالية تداخل الإشارات بين حوامل نقل ترددية مختلفة عالي جداً. تشمل الدراسة سيناريو تطبيق طبي لبيئة WBAN عالية الحركة وذات كثافة عالية ، و تأخذ بالحسبان التداخل من الشبكات اللاسلكية الأخرى في نطاق تردد ISM. لا تبحث في التداخل في نطاقات التردد المرخصة لخدمة الاتصالات الطبية المزروعة (MICS: Medical Implant)

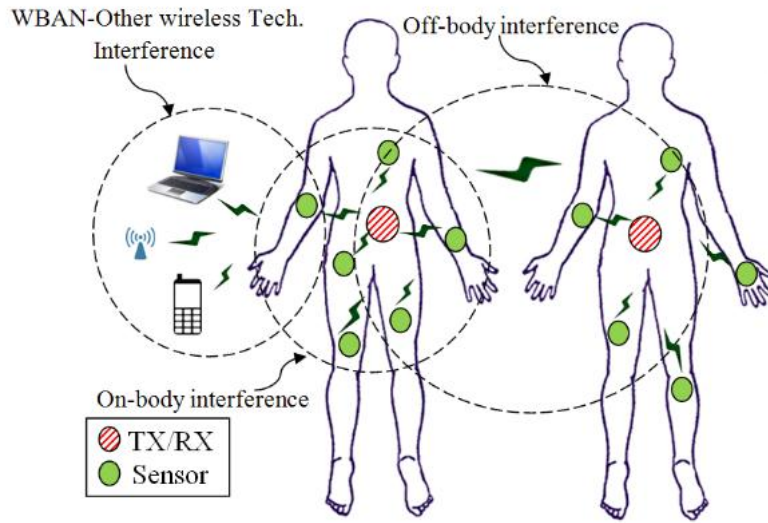
(WMTS: Wireless Medical Communications Service) وخدمات القياس عن بعد اللاسلكية (Telemetry Service) والنطاق العريض (UWB: Ultra-Wideband). و كذلك لا يهتم بعقد التحسس داخل جسم الإنسان لأن جسم الإنسان يفرض العديد من تحديات الإرسال اللاسلكي لأن الجسم يتكون من عدة مكونات لا يمكن التنبؤ بها وتكون عرضة للتغيير. اعتمد هذا البحث أسلوب البحث الكمي حيث سعى إلى استخدام البيانات الإحصائية الكمية من النتائج التجريبية (المحاكاة) لاستخلاص النتائج و تحليل و التنبؤ بالقيم المستقبلية عند وجود تداخل بين شبكات WBANs . غالبًا ما تُستخدم برامج أو أدوات المحاكاة كطريقة بديلة لتنفيذ واختبار و تقييم سلوك الشبكات لأنها تسمح بطبيعة متكررة للاختبارات وهو أمر ضروري لتقييم تحليل الأداء. في تقييم الأداء ، تم استخدام مقاييس و بارامترات خاصة بمعدل نقل البيانات وتأخير الشبكة وكفاءة عرض النطاق الترددي [10][9]. و تم استخدام NS2 كمحاكي.

٤ - شبكات WBAN

يوضح الشكل(1) بنية شبكة WBAN مع أنواع مختلفة من العقد الموزعة في / على / حول جسم الإنسان ومستوياته المتعددة ،و كذلك يبين الاتصالات ضمن شبكة WBAN تدعى (Intra-BAN) و الاتصالات بين الشبكات المختلفة (Intre-BAN) [4]. أيضًا ، في شبكات WBAN المتعددة ، هناك العديد من العقد (أكثر من 200) مما يعني أنه لا يمكنك استخدام قنوات مختلفة للعقد المختلفة ، ومن ثم يتعين على العقد مشاركة القناة التي من المحتمل أن تؤدي إلى تداخل القناة حيث يمكن للعقد المتعددة الإرسال في نفس الوقت. يوضح الشكل (2) أنماط التداخل بين شبكات WBAN [3].



الشكل (1) بنية ثلاثية المستويات تعتمد على نظام اتصالات WBAN



الشكل (2) أنماط التداخل ضمن WBANs

- يمكن تحديد متطلبات شبكات WBAN القائمة على معيار IEEE 802.15.6 من خلال ما يلي [3] :
- (أ) يتراوح معدل البت للوصلة بين 10Kbps و حتى 10Mbps .
 - (ب) يجب أن يكون معدل خطأ الحزمة أقل من 10% من أجل حمل 256octet لـ 95% للروابط .
 - (ج) يجب أن يكون زمن الانضمام إلى الشبكة أو مغادرتها أقل من 3sec.

تم استخدام كل من طرق البحث الكمي والمحاكاة التجريبية في التحقيق و البحث في تأثيرات التنقل و الحركة مع زيادة عدد شبكات WBAN على الأداء العام للشبكة. و لتحقيق ذلك تم استخدام طريقة المحاكاة من أجل عدة سيناريوهات WBAN تشمل 1WBAN ، 8WBAN ، 16WBAN ، 25WBAN. كما تحتوي كل شبكة على ستة حساسات مع وجود عقدة منسق. سنعرض بعض التعريفات التي ستستخدم في البحث:

التأخير الزمني (Time Delay): يعرف التأخير (D) بأنه الزمن الذي تستغرقه الرزمة لتصل إلى المستقبل بعد أن تغادر المرسل.

معدل التدفق (الإنتاجية) (throughput): يرمز له (T) و يعرف بأنه العدد الكلي للبتات المستقبلية خلال ثانية من قبل المستقبلات لكل التدفقات في الشبكات .

كفاءة عرض النطاق الترددي (Bandwidth Efficiency): تعرف بأنها المعدل الذي يمكن به إرسال البيانات عبر عرض نطاق ترددي محدد في شبكة WBAN ، ويتم التعبير عنها كنسبة مئوية . ففي شبكة WBAN ، يتم حساب ذلك كنسبة مئوية للإنتاجية ومعدل البيانات و تظهر العلاقات التالية آلية حساب التأخير و الإنتاجية و فاعلية عرض الحزمة [5] [6].

$$D(\text{Delay}) = T_{\text{avg_backof}_f} + T_{\text{Data}} + T_{\text{ack}} + 2T_{\text{pSIFS}} + 2\tau \quad (1)$$

$$T_{\text{avg_backof}_f} = \frac{CW_{\text{min}} \times T_s}{((MHR + FTR) \times n)} \quad (2)$$

$$T_{\text{Data}} = T_P + T_{\text{PHY}} + \frac{S}{R_{\text{Data}}} \quad (3)$$

$$T = \frac{S}{D} \quad (4)$$

$$\beta = \frac{T}{R_{\text{Data}}} \times 100 \quad (5)$$

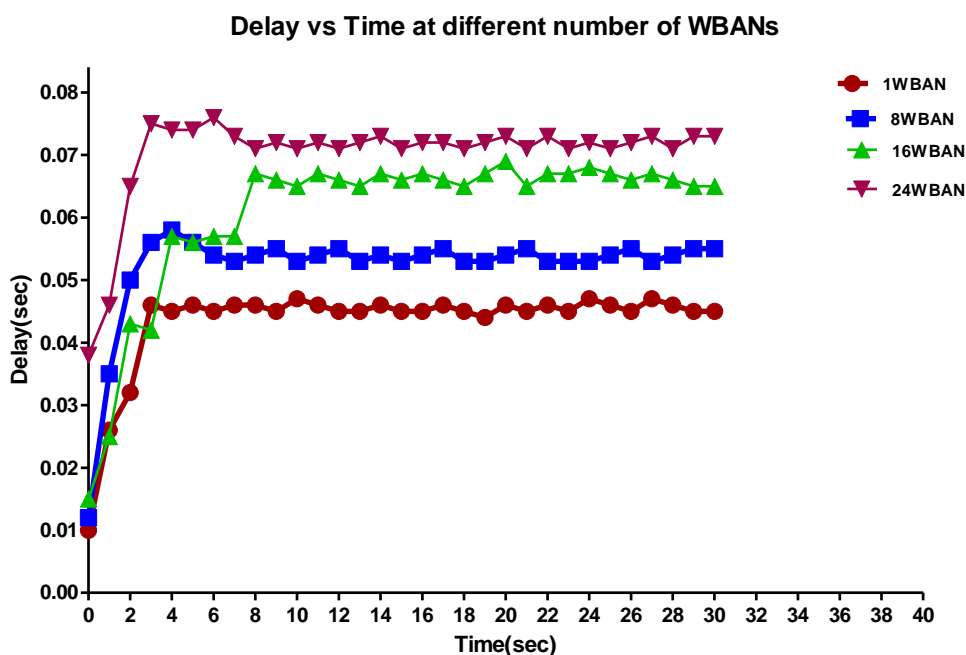
و يعبر عن الرموز كالتالي:

- Contention Window : W_{min} : حجم نافذة التنافس الأصغرية
- FTR: Mac footer : حجم الزيل للإطار Mac ، تحتوي على سلسلة فحص الإطار (FCS) .
- MHR :Mac header : حجم الترويسة للإطار Mac
- Short inter frame spacing time : p_{SIFS} : الزمن الفاصل بين الإطارات و يعبر عن الزمن اللازم لعقدة WBAN لتعالج إطار مستقبل و تستجيب بإطار مرسل. يعد كل من زمن SIFS و زمن الحيز قيم ثابتة لكل طبقة فيزيائية.
- slot length طول الحيز
- propagation time : زمن الانتشار. يرمز له بتأخير الانتشار ، يعبر عن الزمن الذي تستهلكه مقدمة الرزمة لتنتقل من عقدة حساس مرسل إلى عقدة الاستقبال. و يحسب رياضياً بنسبة طول الوصلة على سرعة الانتشار خلال وسط إرسال شبكة WBAN .
- Transmissi on rate of Data : معدل إرسال المعطيات.
- Preamble Transmissi on time : زمن إرسال التمهيدي (يشار له بالترويسة للرزمة)
- Payload Size : حجم الحمل يشير إلى المعطيات الحقيقية المرسله خلال وسط الإرسال . يتم طرح جميع الترويسات من المعلومات المرسله.
- Physical Layer header tra nsmission time : T_{pHPT} : زمن إرسال ترويسة الطبقة الفيزيائية.
- T_{ack} : زمن إشعار الاستلام.

٥- شبكات النتائج و المناقشة:

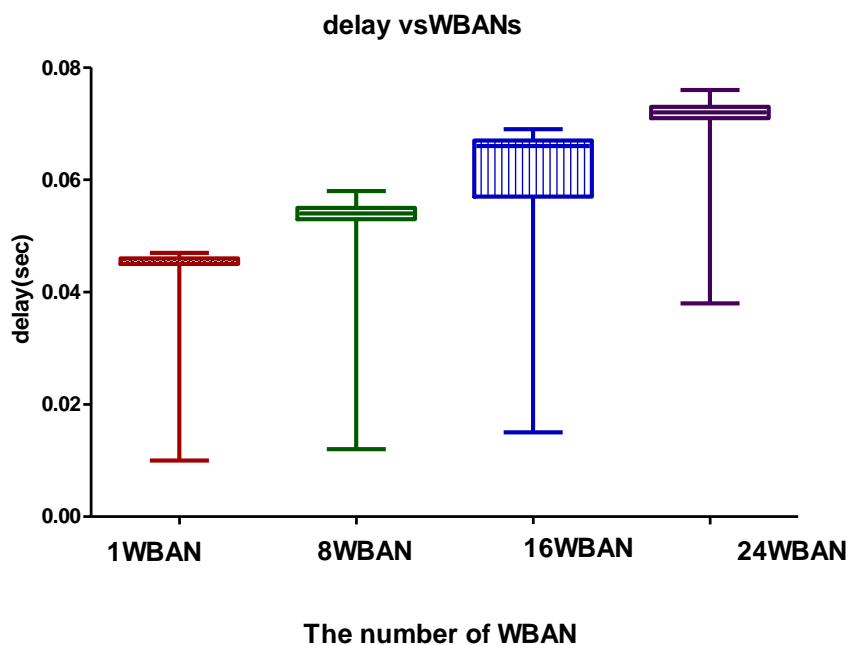
سيتم تقييم أداء الشبكة من خلال وجود أربع سيناريوهات لشبكات WBANS تتحرك في مناطق متداخلة راديوياً بحيث ستتداخل الإشارات المرسله مع بعضها البعض.

- ١- دراسة تأخير الشبكة: بقياس تأخير الشبكة من أجل الحالات الأربع كما موضح بالشكل (3). من اتجاه الأداء ، ينخفض أداء شبكات WBAN المتعددة في فترة زمنية قصيرة مقارنةً بأداء WBAN واحدة. إن شبكة WBAN واحدة تسبب انخفاض مستويات التداخل ، تكون مستويات التأخير أقل بكثير وتزداد مع زيادة عدد WBAN .



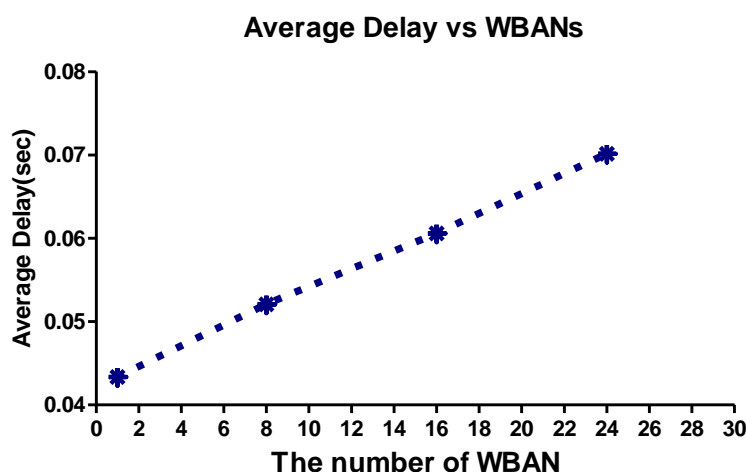
الشكل (3) التأخير كتابع للزمن من أجل عدد مختلف من شبكات WBANs

و يوضح الشكل (4) مقارنة بين الحالات الأربعة و كيفية توزع القيم حول القيمة المتوسطة. تظهر النتائج أن قيمة التأخير تتناسب طردياً مع عدد شبكات WBAN.



الشكل (4) معدل التأخير كتابع لعدد شبكات WBANs

و بغية تحديد سلوك المنحني الممثل لتغيرات التأخير سيتم رسم القيمة المتوسطة كتابع لعدد شبكات WBAN كما موضح في الشكل (5).



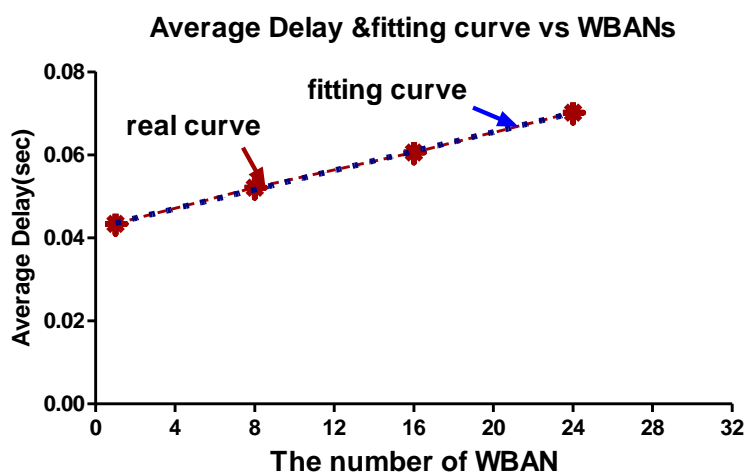
الشكل (5) معدل التأخير كتابع لعدد الشبكات

نسعى للبحث عن تابع توزيع احتمالي يمثل سلوك منحني التأخير مع زيادة عدد شبكات **WBANs** . و بالتالي اعتمادا على تابع التطابق (fitting function) نجد أن (Straight line) يعد أفضل تابع توزيع احتمالي كما موضح بالشكل (6) . و يمثل الشكل (7) بارامترات التابع.

يسلك التأخير سلوك تابع خط مستقيم من الدرجة الأولى (Straight line) من الشكل كما في العلاقة (7) :

$$Y = Y_{\text{Intercept}} + \text{Slope} * X \quad (7)$$

تعبّر $Y_{\text{Intercept}}$ عن قيمة Y عند تقاطع الخط مع محور Y . بينما تعبّر Slope عن ميل الخط



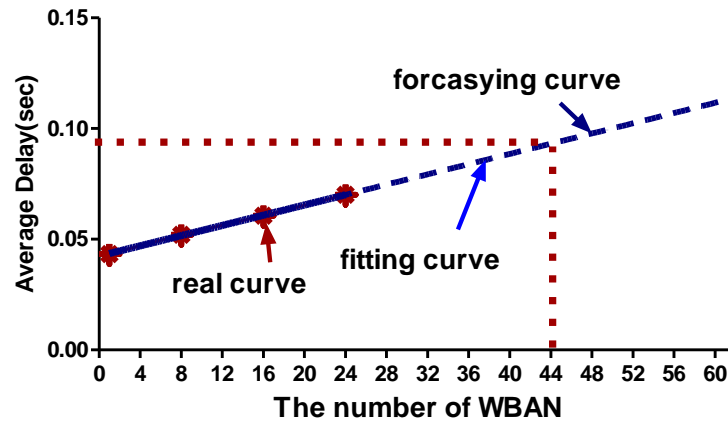
الشكل (6) منحني معدل تغير التأخير و تابع التطابق

Nonlin fit		A
		Data Set-A
		Y
1	Straight line	
2	Best-fit values	
3	YIntercept	0.04240
4	Slope	0.001153

الشكل (7) بارامتر التابع Straight line الممثل لتأخير الشبكة

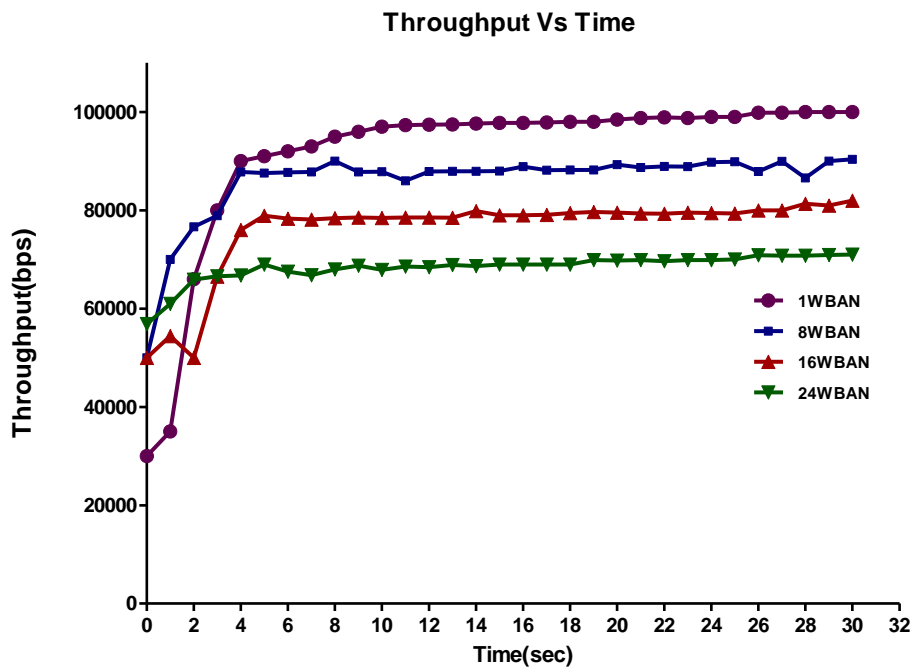
انطلاقاً مما سبق يمكننا التنبؤ بقيمة التأخير مع تزايد عدد الشبكات فمن أجل عدد شبكات WBANs مساوي لـ 44 سيكون معدل التأخير مساوي للقيمة (0.9sec) كما موضح بالشكل (8).

Average Delay vs WBANs

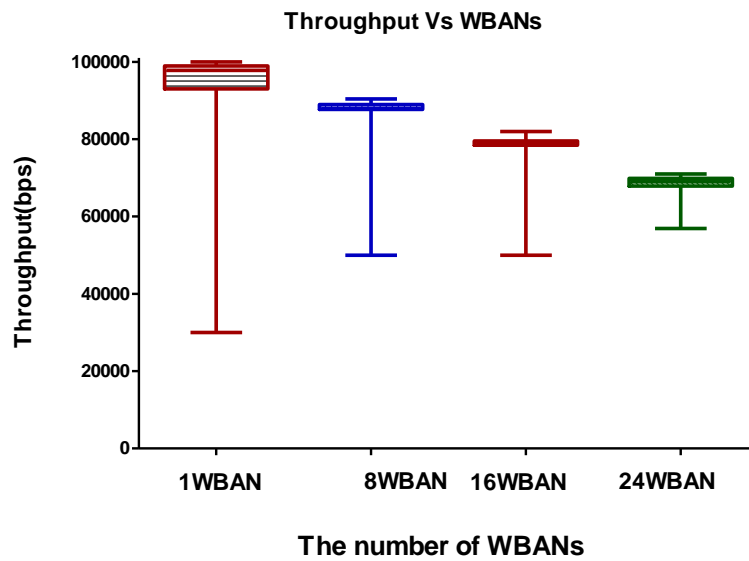


الشكل (8) منحنى التأخير و تابع التنبؤ

٢- دراسة معدل التدفق للشبكة: بقياس معدل التدفق الشبكة من أجل الحالات الأربع كما موضح بالشكل (9). من اتجاه الأداء ، ينخفض أداء شبكات WBAN المتعددة في فترة زمنية قصيرة مقارنةً بأداء WBAN واحدة. إن شبكة WBAN واحدة تسبب انخفاض مستويات التداخل ، تكون مستويات معدل التدفق أعلى وتنخفض مع زيادة عدد WBAN . و يوضح الشكل (10) مقارنة بين الحالات الأربعة و كيفية توزع القيم حول القيمة المتوسطة. تظهر النتائج أن قيمة معدل التدفق تتناسب عكساً مع عدد شبكات WBAN.

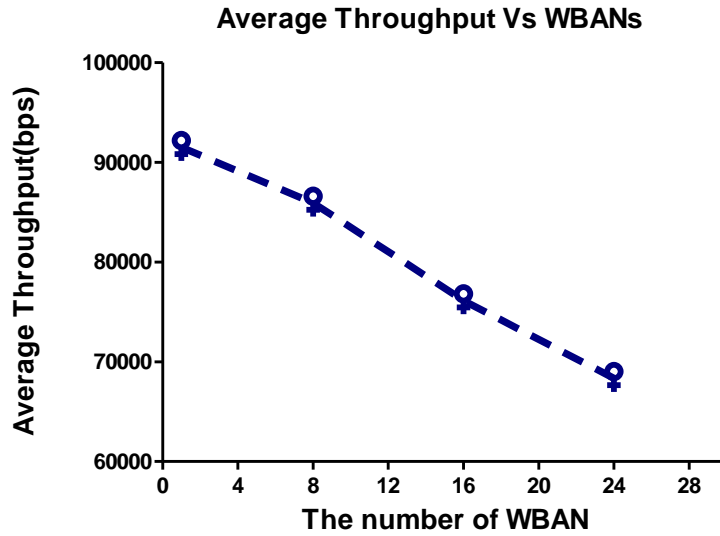


الشكل (9) معدل التدفق كتابع للزمن من أجل عدد مختلف من شبكات WBANs



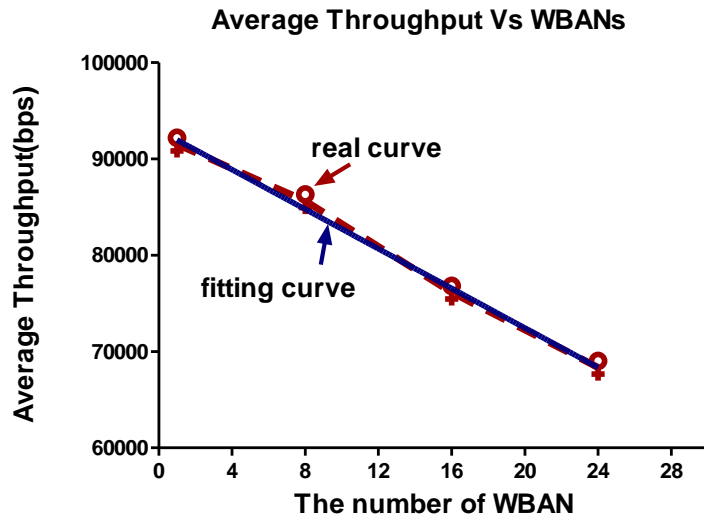
الشكل(10) معدل التأخير كتابع لعدد شبكات WBANs

و بغية تحديد سلوك المنحني الممثل لتغيرات معدل التدفق سيتم رسم القيمة المتوسطة كتابع لعدد شبكات WBAN كما في الشكل (11).



الشكل (11) معدل تدفق المعطيات كتابع لعدد الشبكات

نسعى للبحث عن تابع توزيع احتمالي يمثل سلوك منحنى التأخير مع زيادة عدد شبكات **WBANs** . و بالتالي اعتمادا على تابع التناطبق (fitting function) نجد أن (Straight line) يعد أفضل تابع توزيع احتمالي كما موضح بالشكل (12) . و يمثل الشكل (13) بارامترات التابع.



الشكل (12) منحنى معدل التدفق و تابع التناطبق

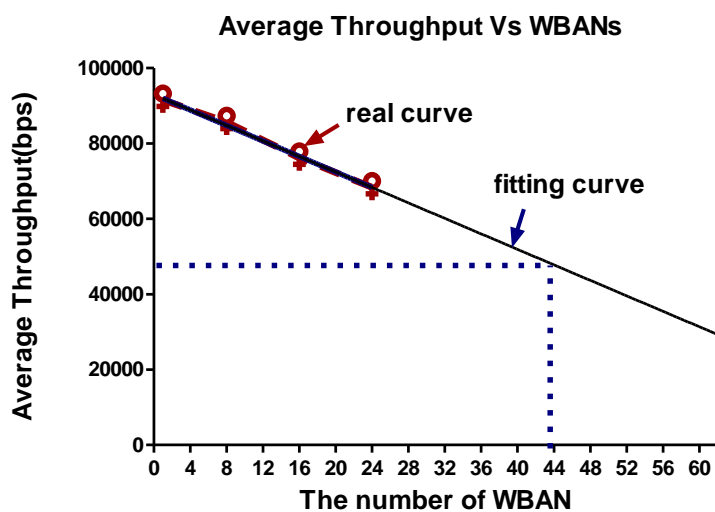
يسلك التأخير سلوك تابع خط مستقيم من الدرجة الأولى (Straight line) من الشكل كما في العلاقة (8):

$$Y = Y_{\text{Intercept}} + \text{Slope} * X \quad (8)$$

	Y	
1	Straight line [3]	
2	Best-fit values	
3	YIntercept	92999
4	Slope	-1027

الشكل (13) بارامتر التابع Straight line الممثل لمعدل التدفق

انطلاقاً مما سبق يمكننا التنبؤ بقيمة معدل التدفق مع تزايد عدد الشبكات فمن أجل عدد شبكات WBANs مساوي لـ 44 سيكون معدل التدفق مساوي للقيمة (49000bps) كما واضح في الشكل (14) .

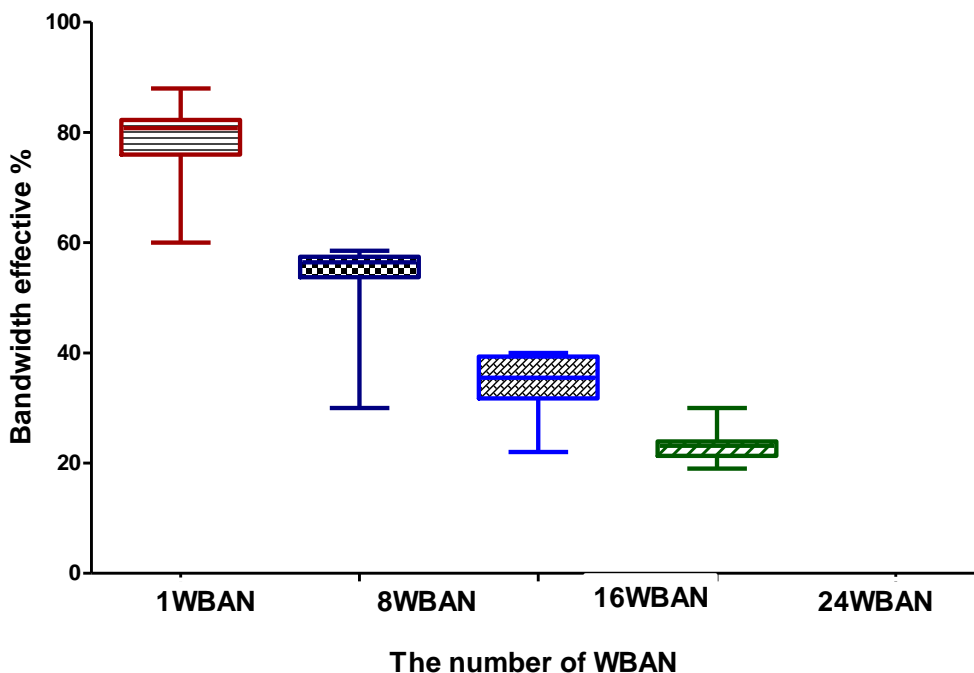


الشكل (14) منحنى معدل التدفق و تابع التنبؤ

٣-دراسة فاعلية عرض الحزمة (bandwidth efficiency) :

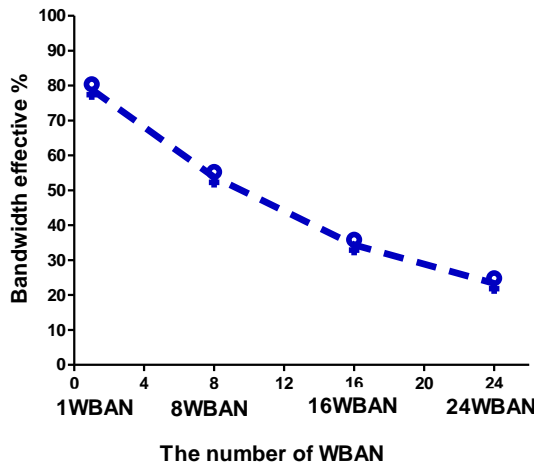
يظهر الشكل (15) أداء كفاءة عرض النطاق الترددي لعدد WBAN الذي يتغير بين شبكة واحدة و 24 شبكة . تظهر النتائج أن النسبة المئوية لكفاءة النطاق الترددي تتناسب عكسياً مع عدد شبكات WBAN. هذا يعني أنه في سيناريوهات WBAN الأعلى ، يكون هناك انخفاض في أداء WBAN. و يتمثل معدل كفاءة عرض الحزمة كتابع لعدد شبكات WBANs كما في الشكل (16) .

Bandwidth effective vs WBANs



الشكل (15) فاعلية عرض الحزمة كتابع لعدد شبكات WBANs

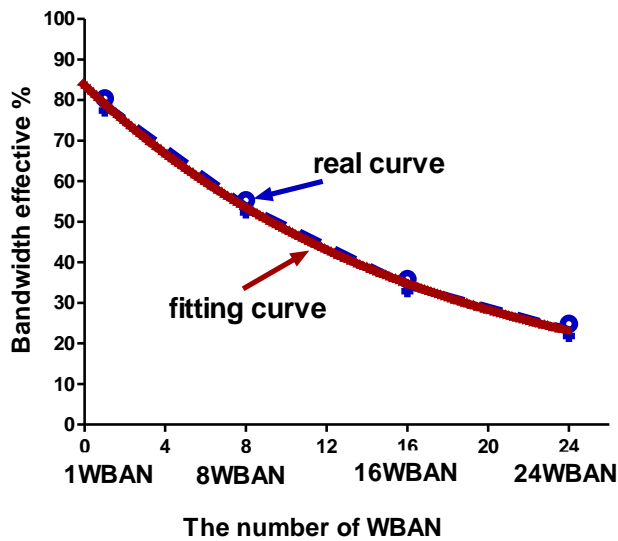
average Bandwidth effective vs WBANs number



الشكل (16) معدل فاعلية عرض الحزمة كتابع لعدد شبكات WBANs

نسعى للبحث عن تابع توزيع احتمالي يمثل سلوك كفاءة عرض الحزمة مع زيادة عدد شبكات WBANs . و بالتالي اعتمادا على تابع التطابق (fitting function) نجد أن (One phase decay) يعد أفضل تابع توزيع احتمالي كما موضح بالشكل (17) و العلاقة (9). و يمثل الشكل (18) بارامترات التابع.

average Bandwidth effective vs WBANs number



الشكل (17) معدل فاعلية عرض الحزمة كتابع لعدد شبكات WBANs

$$Y=(Y_0 - Plateau)*\exp(-K*X) + Plateau \quad (9)$$

Y_0 هي قيمة Y عندما الزمن 0 يتم التعبير عنها بنفس الوحدات مثل Y .

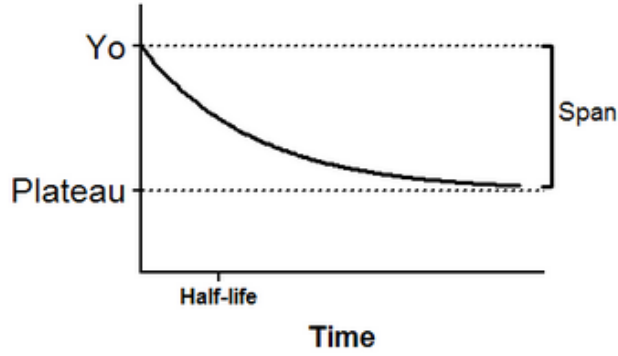
Plateau: قيمة Y أجل زمن لا نهائي يتم التعبير عنها بنفس الوحدات مثل Y

K : هو ثابت المعدل

Tau : الثابت الزمني

Span هو الفرق بين Y_0 و Plateau ، معبراً عنه بنفس الوحدات مثل قيم Y الخاصة بك.

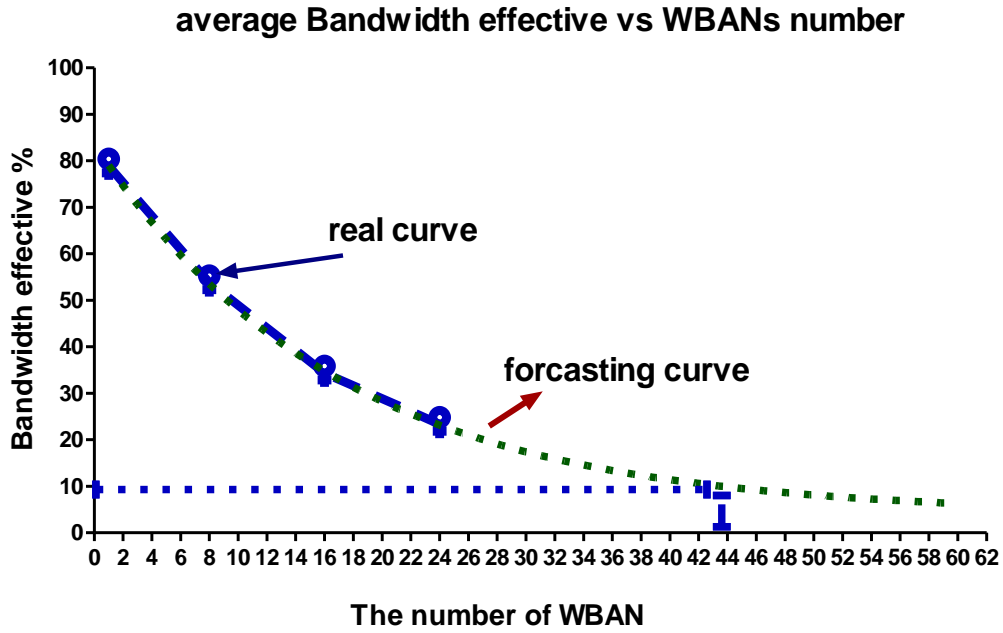
Half-life: نصف العمر في الوحدات الزمنية للمحور. X يتم حسابها بالعلاقة: $\ln(2) / K$.



		Y
1	One phase decay	
2	Best-fit values	
3	Y_0	83.60
4	Plateau	4.040
5	K	0.05945
6	Half Life	11.66
7	Tau	16.82
8	Span	79.56

الشكل (18) تابع (One phase decay) بارامتراته

انطلاقاً مما سبق يمكننا التنبؤ بسلوك عرض الحزمة مع تزايد عدد الشبكات اعتماداً على المعرفة المسبقة لعرض الحزمة عند عدد محدد من شبكات WBANS و بالتالي بالاعتماد على أن سلوك المنحني يأخذ سلوك التابع (One phase decay) كما موضح بالشكل (19) . فمن أجل فاعلية عرض حزمة تساوي 10% يكون عدد الشبكات يساوي 44 شبكة.



الشكل (19) منحنى التنبؤ لفاعلية عرض الحزمة كتابع لعدد شبكات WBANs

٥- الاستنتاجات و التوصيات:

اعتمد هذا البحث أسلوب البحث الكمي حيث سعى إلى استخدام البيانات الإحصائية الكمية من النتائج التجريبية (المحاكاة) لاستخلاص النتائج و تحليل و التنبؤ بالقيم المستقبلية عند وجود تداخل بين شبكات WBANs . تُستخدم برامج أو أدوات المحاكاة كطريقة بديلة لتنفيذ واختبار و تقييم سلوك الشبكات لأنها تسمح بطبيعة متكررة للاختبارات وهو أمر ضروري لتقييم تحليل الأداء. في تقييم الأداء ، تم استخدام مقاييس و بارامترات خاصة بمعدل نقل البيانات وتأخير الشبكة وكفاءة عرض النطاق الترددي . تم تحديد هدفين:

كان الهدف الأول هو تحديد آثار زيادة التنقل وكثافة شبكات WBAN والشبكات المتداخلة على WBAN تم تحقيق هذا الهدف من خلال دراسة محاكاة لتقييم أداء شبكة WBAN الحالية من خلال تبيان كيف أثرت الزيادة في شبكة WBAN من واحد إلى ثمانية إلى ستة عشر إلى أربع و عشرون على أداء شبكة WBAN أثناء محاكاة سيناريو التنقل لشبكة WBAN أكدت النتائج بأن التنقل العالي وزيادة تداخل WBAN يؤدي إلى تدهور أداء WBAN.

كان الهدف الثاني تحديد التابع الذي يسلكه منحنى التأخير، معدل تدفق البيانات و فاعلية عرض الحزمة. فقد تم تحديد السلوك الخطي المتزايد للتأخير ، بينما تم تحديد السلوك الخطي المتناقص لمعدل تدفق البيانات ، بينما يتبع فاعلية عرض الحزمة سلوك التابع الأسّي المتناقص (**One phase decay**). و بالاعتماد على توابع التطابق السابقة يمكن التنبؤ بقيم البارامترات عند عدد محدد من الشبكات فمن أجل عدد شبكات WBAN يساوي 44 تم استنتاج قيمة التأخير المساوية لـ 0.9sec و معدل التدفق المساوي 49000bps ، بينما فاعلية عرض الحزمة تساوي 10% .

٦ - المراجع

- [1] Pervez Khan, M., Hussain, A., & Kwak, K. S. (2009). Medical applications of wireless body area networks. *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, 3(3), 185-93.
- [2] Negra, R., Jemili, I., & Belghith, A. (2016). Wireless body area networks: Applications and technologies. *Procedia Computer Science*, 83, 1274-1281
- [3] Movassaghi, S., Abolhasan, M., Lipman, J., Smith, D., Jamalipour, A. (2014). Wireless Body Area Networks: A Survey. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 2014, 16, 1658–1686
- [4] M. Chen, S. Gonzalez, A. Vasilakos, H. Cao, and V. C. M. Leung, "Body area networks: A survey," *Mob. Networks Appl.*, vol. 16, no. 2, pp. 171–193, 2011
- [5] Dai, H. N. (2009, December). Throughput and delay in wireless sensor networks using directional antennas. In *2009 Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP)*, 421-426. IEE
- [6] Li, L. E., & Sinha, P. (2003, September). Throughput and energy efficiency in topology-controlled multi-hop wireless sensor networks. In *Proceedings of the 2nd ACM international conference on Wireless sensor networks and applications*, 132-140. ACM
- [7] Velusamy, Bhanumathi, and Sangeetha Chitteth Pushpan. "An enhanced channel access method to mitigate the effect of interference among body sensor networks for smart healthcare." *IEEE Sensors Journal* 19, no. 16 (2019): 7082-7088.
- [8] Kurunathan, Harrison, Ricardo Severino, Anis Koubaa, and Eduardo Tovar. "IEEE 802.15. 4e in a nutshell: Survey and performance evaluation." *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 20, no. 3 (2018): 1989-2010.
- [9] Hiep, P.T. Statistical method for performance analysis of WBAN in time-saturation. *EURASIP J. Wirel. Commun. Netw.* 2014, 2014, 1–9. [Google Scholar] [CrossRef]
- [10] Khan, P.; Ullah, N.; Alam, M.N.; Kwak, K.S. Performance Analysis of WBAN MAC Protocol under Different Access Periods. *Int. J. Distrib. Sens. Netw.* 2015, 501, 102052. [Google Scholar] [CrossRef]