

تقييم حساسية نموذج مستقبل مناسب لمعيار IEEE802.15.4

د. م. ناجي ابراهيم محمد *

د. م. بشير علي عرنوس *

م. نور زهير سليمان **

(تاريخ الإيداع 2022/9/8 . قُبل للنشر في 2022/12/12)

□ ملخص □

يعد التطبيق الأكثر استخداماً لشبكات منطقة الجسم اللاسلكية في مجال الرعاية الصحية. تتكون شبكات منطقة الجسم اللاسلكية من عقد تحسس لاسلكية داخل أو خارج الجسم. تم تصميم الطبقة الفيزيائية ذات التردد 2.4GHz لمعيار IEEE802.15.4 من أجل أنظمة WSN(Wireless Sensor Networks) والتي تتطلب قدرات اتصالات ذات معدلات بيانات معتدلة وبنفس الوقت تلبى متطلبات الطاقة والتكلفة لهذه الأنظمة. تعد حساسية المستقبل عامل هام لعقدة الحساس وبالتالي يعد تصميم نظام تمتلك فيه عقدة الحساس قيمة منخفضة للحساسية مع الأخذ بعين الاعتبار ضجيج القناة تحدياً كبيراً. في هذا العمل تم اخذ نموذج للمستقبل مع القيم المقابلة من معامل الضجيج والريح لكل عنصر من عناصره التي تساهم في تحديد قيمة الحساسية، ثم تم حساب استطاعة الضجيج والحساسية ومجال التشغيل الديناميكي الخطي لهذا الحساس. حيث تم إيجاد أن استطاعة الضجيج تزداد مع ازدياد درجة حرارة الحساس ، أما الحساسية فكانت قيمتها بحدود (- 102.45dBm) وهي قيمة جيدة بالنسبة لمعيار الـ zigbee الذي حدد القيمة الاقصى للحساسية المسموح بها (- 85dBm) اما المجال الديناميكي الخطي للحساس فكان (112.45dB) .

الكلمات المفتاحية: IEEE802.15.4، WBAN، حساسية المستقبل، استطاعة ضجيج.

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

** مدرس في قسم هندسة الحاسبات - كلية هندسة المعلوماتية - جامعة الاتحاد الخاصة.

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

Evaluating sensitivity of a receiver model for IEEE802.15.4 standard

Dr. Naji Ibrahim Mohamad *
Dr. Basheer Ali Arnous *
Eng. Nour Zouhair Souliman**

(Received 8/9/ 2022 . Accepted 12/12/ 2022)

□ ABSTRACT

the most popular application of Wireless Body Area Networks is in healthcare. WPANs consist of wireless sensor nodes inside or outside the body . the IEEE802.15.4 standard 2.4GHz wireless physical layer (PHY) was designed for WBAN(Wireless Body Area Networks) & WSN(Wireless Sensor Networks) systems which require moderate data rate communication capabilities while meeting these stringent power and cost constraints .sensitivity is an important parameter for the sensor node therefor designing a system include a node with a low value of sensitivity considering noise is a big challenge. A model was taken with corresponding values of noise figure and gain for each of its element that contribute to determining the value of receiver sensitivity, then the noise power , sensitivity and linear dynamic range(LDR) of this sensor were calculated .it was found that the noise power increases with the increase in temperature of sensor. As for the sensitivity , its value was within (-102.45dBm) which is a good value for the zigbee standard ,which specified the maximum value of (-85dBm) .the linear dynamic range was (112.45dB).

Keywords: IEEE802.15.4, WBAN, receiver sensitivity, noise power.

*Lecturer in the Department of Communications Technology Engineering - College of Information and Communication Technology Engineering - Tartous University.

*Lecturer in the Department of computer Engineering - College of Information Engineering – Al Etehaad private University.

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

1-مقدمة

تُستخدم شبكات الجسم اللاسلكية (WBAN) على نطاق واسع في المجال الطبي حيث يمكن ربط عقد التحسس بجسم الإنسان لمراقبة الإشارات الحيوية [1]. يؤثر جسم الإنسان على خصائص الهوائي منها المؤثرات الخارجية بالإضافة الى ان بنية الحساس لها تأثيراً كبيراً [2]. يعد تصميم عقدة الحساس ونوعها خطوة هامة من تصميم النظام اللاسلكي ككل. تمتلك عقدة الحساس المكونة من قسم لإرسال الاشارات وقسم لاستقبالها [3] خواص مهمة يجب اخذها بالحسبان كتوفير الطاقة والمحافظة على زمن حياة طويل وحساسية المستقبل. تشير حساسية المستقبل الى مستوى الاشارة الاضعف التي يستطيع المستقبل ان يحددها و يحللها ويعالجها وتقاس بال dBm كقيمة سالبة [2]. في [6] وجد الباحث Waterhouse أنه تعتمد قيمة حساسية المعدات المستقبلية على معايير مختلفة ، ولكن قبل كل شيء ، على مستوى الضجيج عند مدخل مفكك التعديل ، كل من الضجيج الحراري المتولد في الجهاز نفسه والضجيج الخارجي الذي يلتقطه الهوائي ، وبالتالي ، فإن أي تداخل خارجي يؤثر على الهوائي سيؤثر أيضاً على جودة النظام وقيمة الحساسية. من ناحية أخرى، لا تشير مواصفات حساسية المستقبل صراحةً إلى تشوه شكل موجة الإشارة أو نسبة الإشارة إلى الضجيج (SNR) [7]. من الناحية الفعلية، يفترض قياس حساسية المستقبل مسبقاً علماً أن ضجيج المستقبل هو العامل المحدد الأساسي في الأداء . أما بالنسبة للمجال الديناميكي الخطي فهو مجال العمل او التشغيل الذي يمتلك فيه عنصر النظام أو النظام بأكمله المميزات المرغوبة. يعتمد مجال التشغيل الديناميكي الخطي للمستقبل على مستوى حساسية الاشارة. تم استخدام حساس تجاري شائع الاستخدام في شبكات الجسم اللاسلكية كونه يعمل على تردد 2.4GHz المستخدم في هذه الشبكات كما يمكن برمجته للعمل على ترددات أخرى ويحقق متطلبات بروتوكول zigbee من ناحية توفير الطاقة والارسال لمسافات قصيرة وغيرها [4]. سيتم الحساب للحصول على قيم استطاعة الضجيج وقيمة الحساسية وقيمة المجال الديناميكي الخطي. و تقييم أداء الحساس المقترح من خلال عمليات المحاكاة باستخدام البيئة البرمجية (MATLAB(R2015a).

2-هدف البحث وأهميته:

تبرز أهمية البحث في تصميم عقدة حساس مع البارامترات الخاصة بكل مكون منها من الربح الى معامل الضجيج ثم حساب قيمة استطاعة الضجيج من أجل القيم المفروضة للتصميم ، ثم حساب قيمة الحساسية. تعد الحساسية بارامتراً مهماً جداً كونها تحدد الى أي مدى يكون المستقبل قادراً على استقبال الاشارات الضعيفة وخصوصاً في بيئة تعاني من الضجيج لأسباب تعود الى بنية الحساس وتصميمها وخواص المكونات التي يتضمنها الحساس كما هدف البحث الى حساب المجال الديناميكي الخطي للحساس المستخدم ، ثم حساب أصغر اشارة يمكن كشفها (MDS(Minimum Detectable Signal و هي إشارة الدخل التي تنتج بالخرج قيمة SNR مساوية الى 0dB (حيث تكون طاقة الاشارة مساوية الى طاقة الضجيج).

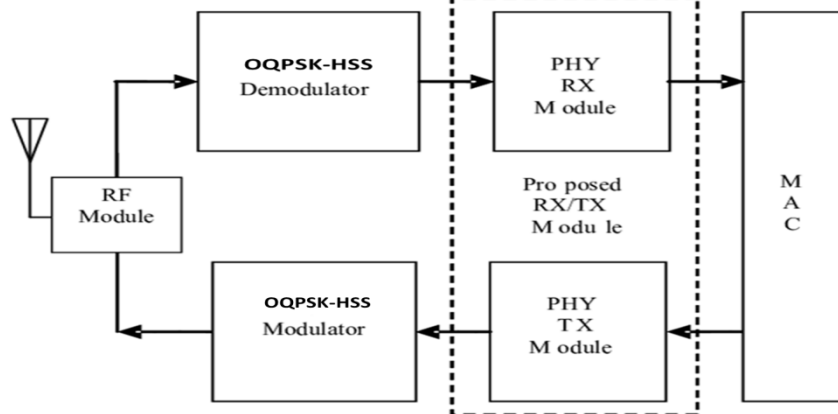
3- طرائق البحث وأدواته:

1-3 جهاز الارسال والاستقبال RF:

يعد جهاز الإرسال والاستقبال مزيج من جهاز إرسال وجهاز استقبال في حزمة واحدة. ينطبق الاسم على أجهزة الاتصالات اللاسلكية مثل الهواتف الخلوية وأجهزة الراديو المحمولة باليد ثنائية الاتجاه وأجهزة الهاتف اللاسلكية. يستخدم المصطلح أحياناً للإشارة إلى أجهزة الإرسال أو أجهزة الاستقبال في أنظمة أو كابلات الألياف الضوئية. يتم إيقاف جهاز الاستقبال أثناء الإرسال. يمنع مفتاح إلكتروني جهاز الإرسال من إلحاق الضرر بالمستقبل. في هذا النوع من الأجهزة، من الصعب الحصول على إشارات أثناء الإرسال ويسمى هذا الوضع أحادي الاتجاه Half Duplex. تم تصميم نوع من أجهزة الإرسال والاستقبال للسماح باستقبال الإشارات خلال فترات الإرسال. يسمى هذا الوضع الأزواج الكامل Full Duplex ويحتاج إلى أن يعمل جهاز الإرسال (TX) والمستقبل (RX) على ترددات مختلفة إلى حد كبير حتى لا تتداخل الإشارة التي يتم إرسالها مع الاستقبال. تستخدم مجموعات أجهزة الاتصال هذا الوضع. تستخدم شبكات الاتصالات الساتلية (Satellite) بشكل متكرر أجهزة إرسال واستقبال ثنائية الاتجاه [9].

2-3 بنية جهاز الارسال والاستقبال RF:

يمثل الشكل (1) مخطط صندوقي لوحدة الارسال والاستقبال في شبكات WBAN . يتم في قسم الارسال معالجة PSDU (Physical layer Service Data Unit) في طبقة ال MAC لتحويلها الى رزمة PDU (Physical layer Protocol Data Unit)، يتم معالجة الإشارة في وحدة معالجة حزمة الارسال بالإضافة الى ترميز القناة وتطبيقها على PDU. يتم تعديل البيانات في البداية وتحويل الى إشارة راديوية. في قسم الاستقبال: تحول الإشارة الراديوية الى إشارة تردد متوسط (intermediate frequency) IF ثم يفك تعديلها بواسطة مفكك تعديل منخفض الطاقة والذي يعتمد على الطبقة الفيزيائية ونمطها، بعد فك تعديل الإشارة المستقبلية تعالج في وحدة معالجة حزمة الاستقبال ثم يتم تحويل PSDU المستقبلية الى طبقة ال MAC [5].



الشكل (1): يمثل مخطط صندوقي لوحدة الارسال والاستقبال في IEEE 802.15.4

إن وحدة RF عبارة عن جهاز إلكتروني صغير الحجم يستخدم لتبادل إشارات الراديو بين جهازين. التطبيق الرئيسي لوحدة RF هو نظام مضمن للاتصال بجهاز آخر لاسلكياً. يمكن تحقيق هذا الاتصال من

خلال اتصالات التردد اللاسلكي. بالنسبة للتطبيقات المختلفة، فإن الوسيلة المفضلة هي الترددات الراديوية لأنها لا تحتاج إلى خط نظر. يتم استخدام وحدة الإرسال والاستقبال RF في الاتصالات اللاسلكية من أجل جعل المعلومات في شكل بيانات / صوت / فيديو ملائمة لنقلها عبر الوسيط اللاسلكي. و بالتالي فإن الهدف الرئيسي من هذا الجهاز هو تغيير تردد IF إلى تردد RF والعكس صحيح. تشمل تطبيقات وحدات التردد اللاسلكي بشكل أساسي على منتجات منخفضة ومتوسطة الحجم لتطبيقات المستهلكين مثل أنظمة الإنذار اللاسلكي، وفتح أبواب المرآب، وتطبيقات أجهزة الاستشعار الذكية، وأنظمة التشغيل الآلي للمنزل اللاسلكي، وأجهزة التحكم عن بعد الصناعية.

3-3 بارامترات قسم الإرسال والاستقبال وتطبيقات الجهاز:

هنالك بارامترات خاصة لقسم الإرسال وغيرها خاصة بقسم الاستقبال [2] تم تصنيفها في الجدول (1) .

الجدول (1): بارامترات الجهاز الراديوي

بارامترات جهاز الإرسال الراديوي	بارامترات جهاز الاستقبال الراديوي
اكتساب التسطیح (gain flatness)	Gain flatness
نطاق التردد o/p,i/p (i/p,o/p frequency range)	i/p and o/p frequency range
ريح التعديل (gain adjustment)	gain adjustment
ريح التحويل (conversion gain)	معامل الضجيج (noise figure)
نقطة الضغط (compression point)	استقرار تردد المنع (rejection frequency stability)
استقرار التردد 1dBm (1dBm frequency stability)	

3-4 حساسية المستقبل:

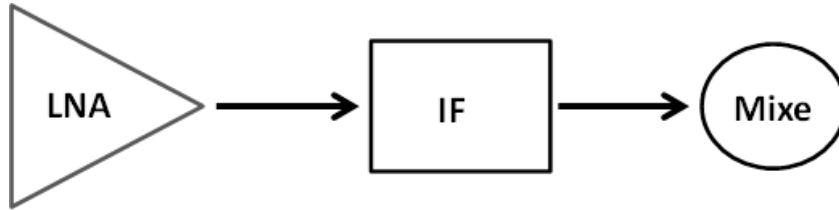
من خلال جمع القيم المطلقة لحساسية الاستقبال (المستقبل) واستطاعة الانبعاث (المرسل) يمكن حساب أقصى قيمة لاستطاعة الإشارة التي يمكن ان تضيع خلال عملية الإرسال. القيمة العالية للحساسية تعني ان أداء المستقبل أقل من المرغوب. كلما كان مستوى استطاعة الإشارة أقل كان أفضل لأنه يظهر لنا مدى ضعف إشارة الدخل قبل استقبالها بشكل فعال من المستقبل. وعلى سبيل المثال مستقبل بحساسية -70dBm أفضل من مستقبل بحساسية -60dBm لأن القيمة -70dBm تعني ان المستقبل أكثر حساسية وقادر على التقاط اشارات ذات استطاعة ضعيفة.

في الجدول (2) تم تحديد قيم حساسية المستقبل [3]:

الجدول (2): حساسية المستقبل لكل نموذج للبروتوكول

RF Module	Sensitivity dBm
Bluetooth	-70 to -100
Wifi	-40 to -80
Cellular	Up to -120
Lora	Up to -130
GNSS	-140 to -165
Zigbee	Up to -85

يتكون الحساس من المكونات التالية: الهوائي - المرسل المستقبل الراديوي - المتحكم الميكروي - كرت ذاكرة - بطارية. حساسية المستقبل مرتبطة بشكل خاص بمضخم التردد المتوسط للمستقبل وخاصة LNA(low noise amplifier) و اول مازج للتردد mixer (وهي من مكونات المرسل المستقبل الراديوي). في العديد من الاجهزة العنصر الذي يؤثر على حساسية المستقبل ليس الريح وانما NF (noise figure). تم في هذا البحث اعتبار الأجزاء التالية من المستقبل مع البارامترات الموافقة كما في الشكل (2):



الشكل(2) يمثل المكونات الموجودة في الحساس و التي سوف تستخدم في دراستنا التحليلية.

البارامترات المستخدمة:

1- **المضخم**: Gain(G)=15dB , Noise Figure (NF)=1.5dB

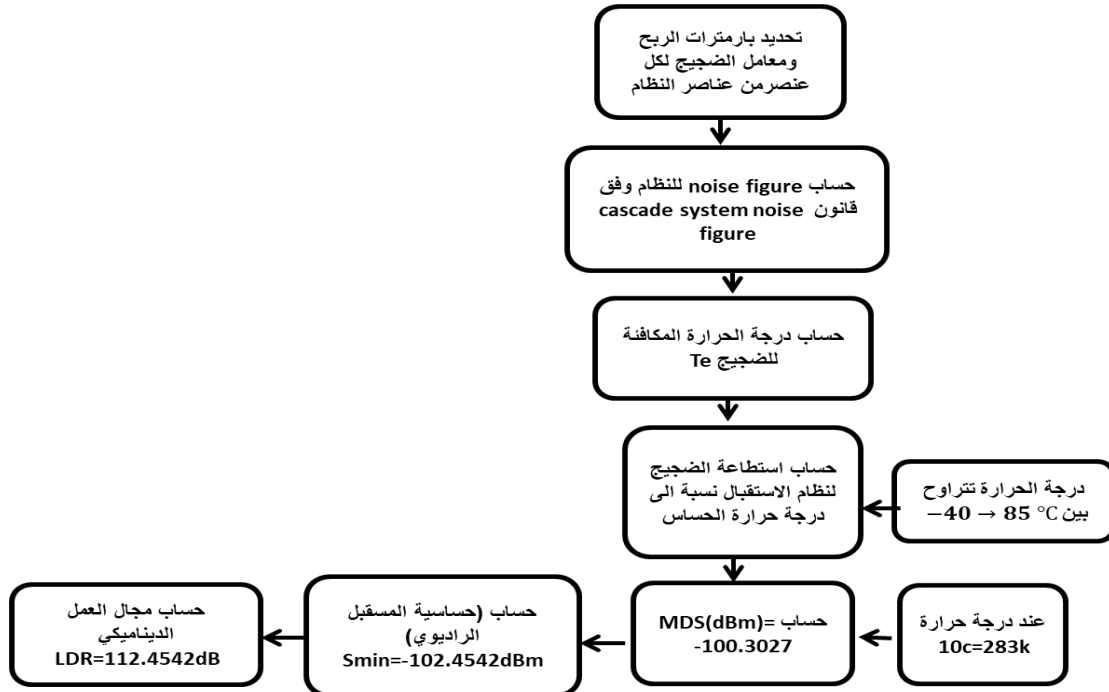
2- **مرشح IF**: Loss(L)=1dB , Noise Figure (NF)=1dB

3- **المازج**: Loss(L)=3dB , NF=4dB

4- النتائج والمناقشة:

4-1 مخطط سير العمل:

تم وضع مراحل العمل على شكل مخطط صندوقي كما هو موضح في الشكل(3).



الشكل (3) يعبر عن مخطط تدفقي لمراحل العمل

تم تلخيص البارامترات المستخدمة وفق المحاكاة في الجدول (3) كما يلي:

الجدول (3): بارامترات المحاكاة

البارامتر	قيمه
ريخ LNA	15dB
ريخ IF filter	1dB
ريخ mixer	-3dB
معامل ضجيج LNA	1.5dB
معامل ضجيج mixer	4dB
معامل ضجيج IF filter	1dB

2-4 حساب noise figure للنظام:

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} \quad (1)$$

$$F = 1.48$$

$$NF = 10 \log_{10}(F) = 1.7046 \text{dB}$$

3 -4 حساب noise power: من اجل حساب استطاعة الضجيج في نظام الاستقبال يجب علينا اولاً

حساب درجة الحرارة المكافئة للضجيج:

$$Te = (F-1) * T = (1.48-1) * 290 = 139.4 \text{K} \quad (2)$$

حيث: T هي درجة الحرارة المطلقة وتساوي 290 كلفن.

Te: درجة الحرارة المكافئة للضجيج.

$$No = G_1 G_2 G_3 K B (Ta + Te) \quad (3)$$

حيث:

No: طاقة الضجيج وتقاس بال dBm.

k: ثابت بولتزمان ويساوي $1.380 * 10^{-23}$.

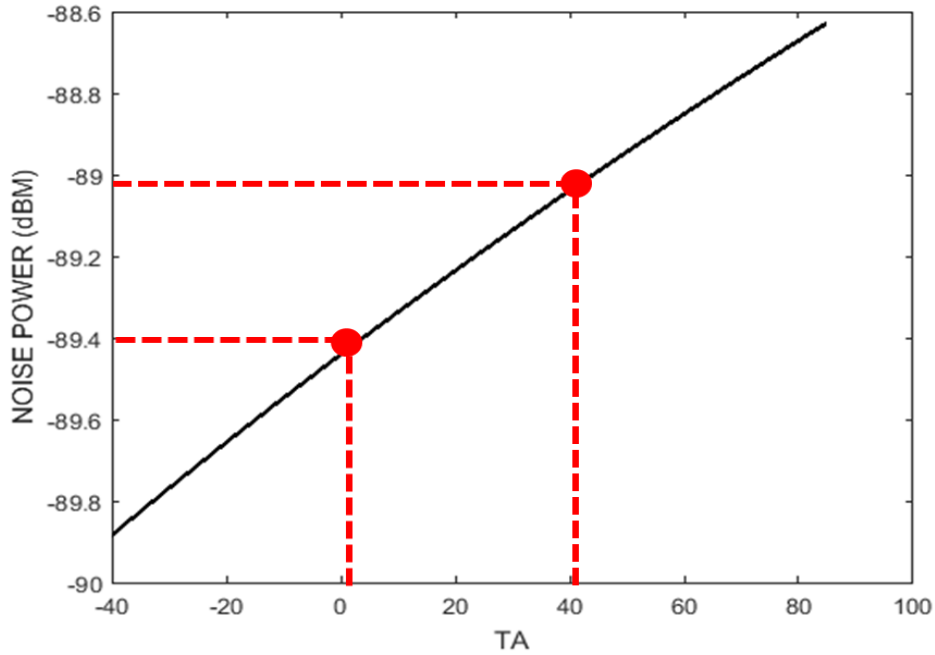
B: عرض حزمة IF filter، بما ان حساس CC2420 التجاري يعمل على التردد 16MHz سوف نعتبر

هذه القيمة في بحثنا هذا.

Ta: درجة حرارة الحساس. الحساسات التجارية التي تعمل في شبكات WPAN لها مجال درجة الحرارة تعمل

ضمنه وهو $(-40 \rightarrow 85 \text{ } ^\circ\text{C})$. الشكل (4) يمثل منحنى يعبر عن استطاعة الضجيج كتابع لدرجة حرارة الحساس

حيث نلاحظ ان استطاعة الضجيج تزداد مع زيادة درجة الحرارة.



الشكل (4) يعبر عن استطاعة الضجيج بال dBm نسبة الى درجة حرارة الحساس بال °C مجال درجة الحرارة الذي يهمننا في هذه الدراسة هو °C 0 → 40. وبالتالي استطاعة الضجيج المقابلة لهذا المجال تتراوح بين °C -89.5 → -89

4-4 حساب MDS(minimum detectable signal):

$$MDS(dBm) = -174 + NF + 10 \log_{10} B \quad (4)$$

بالتعويض نجد $MDS(dBm) = -100.2542$

يمكننا التأكد من هذه النتيجة بطريقة أخرى. من أجل $SNR = 0dB = 1$ من أجل $So/No = output$

لإيجاد Si لدينا $So = G * Si$ وبالتالي

$$Si = \frac{So}{G} = \frac{So}{No} * \frac{No}{G} = 1 * 1.1650 * \frac{10^{-12}}{12.4910} = 9.3267 * 10^{-14} \text{ watt}$$

$$Si = 10 * \log_{10} 9.3267 * 10^{-14} = -130.3027dB = -130.3027 + 30 = -100.3027dBm$$

هذه النتيجة قريبة من قيمة MDS التي تم استنتاجها سابقاً وهي $-100.2542dBm$.

حيث: $G = G1 * G2 * G3$ و $No = 1.1650 * 10^{-12}dBm$ من أجل درجة حرارة

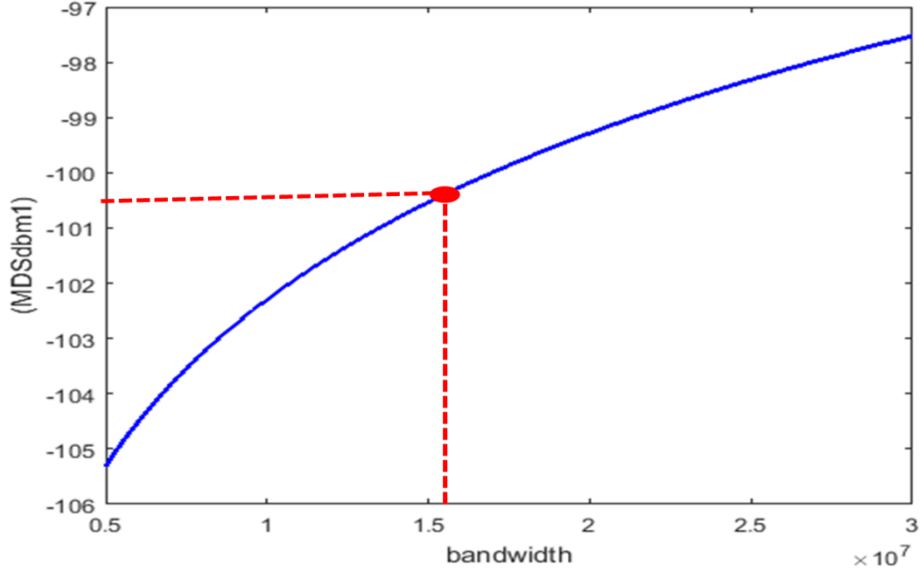
$$10^{\circ}C = 283k$$

وتم استنتاجها كالتالي:

$$No = G1 G2 G3 K B (Ta + Te) =$$

$$12.4910 * 1.380 * 10^{-23} * 16 * 10^6 * (10 + 273 + 139.4) = 1.1650 * 10^{-12}dBm$$

أي اننا نستنتج ان درجة الحرارة التي تعطينا قيمة MDS مساوية ل -100.2542 هي 10°C .
إذا رسمنا MDS كتابع لقيمة عرض الحزمة المستخدمة نحصل على الشكل (5) .



الشكل (5) يعبر عن رسم MDS(dBm) كتابع ل عرض الحزمة المستخدمة بالهرتز

4-5 حساب حساسية المستقبل S_{min} :

يمكن تعريف الحساسية لمستقبل لاسلكي على انها اصغر استطاعة للإشارة الراديوية الداخلة والتي يمكن معالجتها لإنتاج نسبة اشارة الى الضجيج صغرى S_{min} وذلك للمحافظة على BER(bit error rate) المطلوبة في النظام.

$$S_{min} = MDS(dBm) + SNR_{min}$$

$$S_{min} = -174 + NF + 10 \log_{10} B + SNR_{min} \quad (5)$$

حيث SNR_{min} هي أقل نسبة اشارة الى الضجيج في مفكك التعديل demodulator كافية لإنشاء اتصال موثوق.

من أجل استنتاج قيمة SNR_{min} . تعطي

$$SNR_{min} = \frac{(Eb/N0)_{min}^{OQPSK-HSS}}{C.P} \quad (6)$$

الحد الأدنى من الطاقة لكل بت الى نسبة الضجيج المطلوبة لنظام تعديل

OQPSK-HSS

C: ربح الترميز.

p: ربح المعالجة.

في [3] تم استنتاج قيم $(Eb/N0)_{min}^{OQPSK-HSS} = 8.8$ ، $c=2$ ، $p=9$ بالتعويض في (6) نجد

$$SNR_{min} = 8.8 - 2 - 9 = -2.2\text{dB}$$

وبالتالي بالتعويض في (5) لحساب الحساسية:

$$S_{min} = -102.4542\text{dBm}$$

تعد هذه القيمة جيدة لمستقبيل راديوي [3] فكلما زادت سلبية هذه القيمة كلما دل ذلك على فعالية قدرة المستقبيل لالتقاط الاشارات الضعيفة وفي معيار IEEE802.15.4 يجب ان تكون قيمة الحساسية اقل من -85dB.

$$\text{Signal power} = -102.4542\text{dBm} = -102.4542 - 30 = -132.4542\text{dBW}$$

$$\begin{aligned} \text{Signal power in watt} &= 10^{\left(\frac{-132.4542}{10}\right)} = 5.6830 * 10^{-14} \text{ watt} \\ &= 5.6830 * 10^{-11} \text{ mw} \end{aligned}$$

اذا استخدمنا single ended antenna (50ohm) عندئذ

$$\text{Signal voltage} = \sqrt{r * p} = \sqrt{50 * 5.6830 * 10^{-14}} = 1.6857 \mu\text{v}$$

هذا يعني ان الاشارة المستقبلة ذات voltage=1.6857μv واعلى يمكن كشفها واستخلاص البيانات من اجل (BER < 1%).

4-6 مجال التشغيل الخطي (LDR): Linear Dynamic Range

تعطى علاقة مجال التشغيل الخطي بالديسبل بالشكل التالي:

$$LDR(\text{dB}) = IP_{1\text{dB}} - S_{\text{min}} \quad (7)$$

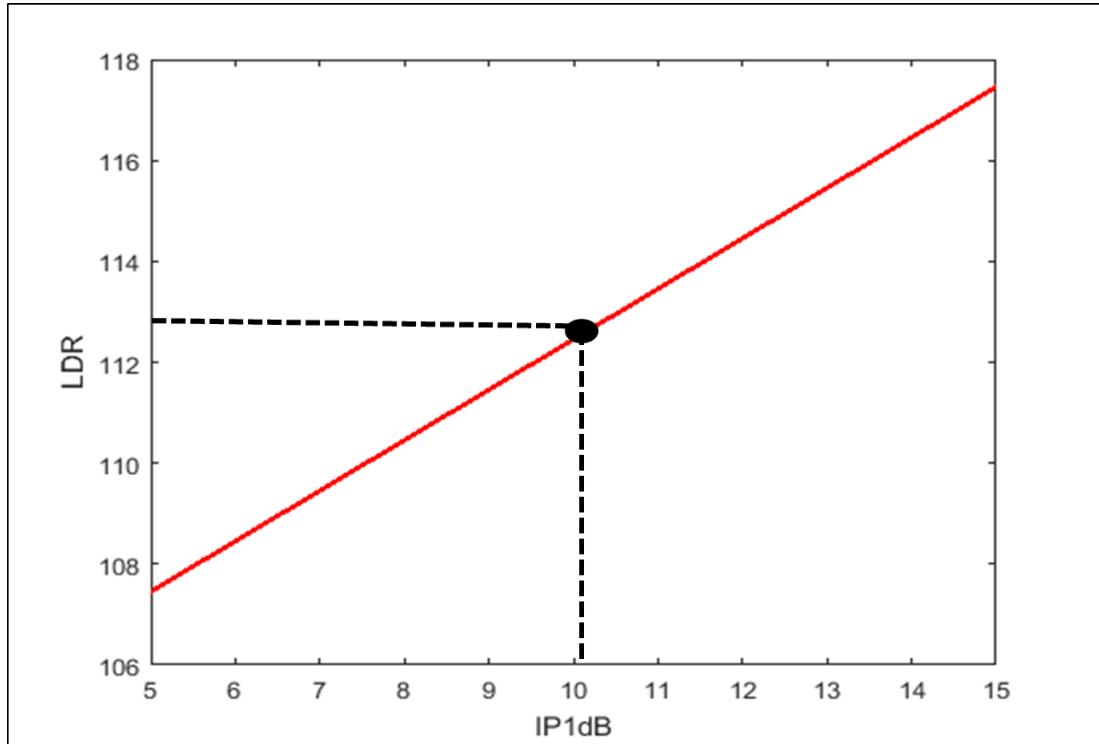
حيث $IP_{1\text{dB}}$: (input 1-dB compression point).

تعرف نقطة الضغط P1dB على انها مستوى الاستطاعة الذي تنخفض عنده استطاعة الخرج بمقدار 1dB عن الحالة الخطية المثالية. يمكن ان تحدد كاستطاعة دخل $IP_{1\text{dB}}$ او استطاعة خرج $OP_{1\text{dB}}$.

اذا تم تعويض ان $IP_{1\text{dB}} = 10\text{dBm}$ عندئذ

$$LDR(\text{dB}) = 10 - (-102.4542) = 112.4542\text{dB}$$

اذا اخذنا قيمة $IP_{1\text{dB}}$ كمجال ثم رسمنا LDR كتابع لها نحصل على الشكل (6).



الشكل (6) يعبر عن LDR(dB) كتابع ل $IP_{1\text{dB}}$

5-الاستنتاجات والتوصيات:

1- اعتمد البحث في اختيار نموذج لمستقبل لاسلكي يستخدم في شبكات WPAN لاستقبال الاشارات اللاسلكية والتي تتبادلها العقد في ما بينها (تكون عبارة عن معلومات مهمة هي قيم التحسس التي تلتقطها الحساسات في الجسم)، هذا النموذج يمتلك مجموعة من الخصائص والبارامترات التي ساعدت على حساب استطاعة الضجيج والحساسية ومجال التشغيل الديناميكي.

2- تضمن العمل دراسة النموذج المختار وحساب الخصائص المذكورة سابقا وتقييمها فيما إذا كانت تحقق المعيار المطلوب ام لا.

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

- كان معامل الضجيج (noise figure) لنموذج المستقبل هو 1.7046dB اما درجة الحرارة المكافئة للضجيج 139.7K . تم رسم طاقة الضجيج ك تابع لدرجة حرارة الحساس التي تتراوح بين $40-$ الى 85 درجة ولاحظنا انها تزداد مع ازدياد درجة الحرارة و عند درجة حرارة 10C تكون قيمة استطاعة الضجيج * 1.1650 10^{-12}dBm وعندها تكون اصغر قيمة للإشارة قابلة للكشف -100.3027dBm .

- تم حساب قيمة الحساسية من اجل $\text{SNR}_{\text{min}} = -2.2\text{dB}$ وعرض حزمة 16MHz وكانت النتيجة - 102.45dBm وهي قيمة جيدة ومقبولة لهذا النظام [3].

- تم حساب مجال التشغيل الديناميكي الخطي الذي يعمل عنده الحساس من اجل $\text{IP1dB} = 10$ وكانت النتيجة 112.45dB .

- يوضح هذا الجزء من العمل أن اختيار هذا الحساس وبهذه البارامترات من حيث معامل الضجيج والريح والخسارة نتج عنه قيمة حساسية للمستقبل مناسبة ومقبولة لمعيار IEEE802.15.4 و كلما قلت هذه القيمة كلما كان المستقبل فعالاً وقادراً على استقبال إشارات ضعيفة وبالتالي الحفاظ على اتصال موثوق قدر الإمكان.

ومن التوصيات المستقبلية:

- تحسين آلية العمل المتبعة بحيث تحافظ على جودة الأداء وتحسن من فعالية المستقبل في النقاط الإشارات.
- يمكن استخدام مضخم متكيف مزود بتغذية عكسية يغير قيمة الريح تبعاً لقيمة الحساسية فإذا كانت أكبر من القيمة المطلوبة يقوم بتكبير قيمة الريح للحصول على قيمة حساسية مثالية او مقبولة الى حد ما.

6- المراجع

- [1] Filipe, L.; Fdrex-Riverola, F.; Costa, N.; Pereira, A. Wireless Body Area Networks for Healthcare Applications. *Int. J. Distrib. Sens. Netw.* **2015**, 11, 213705.
- [2] K. Yazdandoost, H. Sawada, S.-T. Choi, J. Takada, and R. Kohn, "Channel characterization for ban communications ID:15-07-0641," IEEE submission, 2007.
- [3] IEEE 802.15.4 Standard Specification, downloadable at standards.ieee.org/getieee802/.2019.
- [4] CC2420 Datasheet, downloadable at www.chipcon.com.2020.
- [5] Movassaghi S., Abolhasan M., Lipman J., Smith D. & Jamalipour A. (2014), "Wireless Body Area Networks: A Survey," in *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, vol.16, no.3, pp.1658-1686, Third Quarter 2014.
- [6] R. B. Waterhouse, S. D. Targonski, and D. M. Kokotoff, "Design and performance of small printed antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 46, pp. 1629–1633, Nov. 1998.
- [7] B. Cook, A. Molnar, and K. Pister, "Low power RF design for sensor networks," in *Proc. IEEE Radio Freq. Integr. Circuits (RFIC) Symp.*, Jul. 2005, pp. 357–360.
- [8] IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks, Standard 802.15.4-2015 802.15.4-2011, 2016, pp. 1–709.
- [9] P. Hall and Y. Hao, *Antennas and Radio Propagation for Body-Centric Wireless Communications*. London, UK: Artech House, 2006.
- [10] "Chipcon cc2420 datasheet." [Online]. Available: [www.chipcon.com/files/CC2420 Brochure.pdf](http://www.chipcon.com/files/CC2420_Brochure.pdf).2018.