

دراسة تأثير نمط عمل شبكة ZigBee على تقييم بارامترات الأداء

د. ناجي محمد *

(تاريخ الإيداع 18 / 1 / 2022 . قبل للنشر في 3 / 4 / 2022)

□ ملخص □

تلعب الشبكات اللاسلكية دورًا متزايد الأهمية في حياة الناس اليومية. حيث تعد شبكة ZigBee تقنية اتصالات لاسلكية قصيرة المدى ذات معدل نقل بيانات منخفض واستهلاك منخفض للطاقة وأمان عالٍ وخصائص عالية السعة. يتم استخدام ZigBee على نطاق واسع في مختلف المجالات كإنترنت الأشياء وشبكات الاستشعار اللاسلكية والخدمات الطبية.

تعد ZigBee تقنية هامة لمؤسسات البحث و الشركات، بحيث يصبح تقييم أداء الشبكة وتحسين البروتوكول محور دراسة و بحث دائمين. في هذه المقالة، تم بناء شبكة باستخدام الأداة محلل الشبكة NS2 ، وكما تعتمد منصة محاكاة ZigBee على IEEE802.15.4. تتمثل مؤشرات الأداء بشكل أساسي في معدل ضياع الرزمة، ومعدل التسليم، والارتعاش، والتأخير، والإنتاجية، حيث يعكس معدل ضياع الرزمة ومعدل التسليم موثوقية الشبكة ل ZigBee. تم تقييم أداء الشبكة في حال وضع التمكين وعدم التمكين للمنارة، كما أنجز حساب البارامترات اعتماداً على تغير الزمن الفاصل بين إرسال الرزم. واعتماداً على تغير سلوك منحنى ضياع الرزم ومعدل تغير تدفق البيانات تم تحديد التابع الاسي المتزايد والمتناقص على الترتيب كتوابع احتمالية تضبط سلوك المنحنيات. الكلمات المفتاحية: شبكة ZigBee ، IEEE 802.15.4 ، NS2 ، تقييم الأداء ، الإنتاجية ، معدل فقدان الحزمة ، التأخير، المنارة.

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

studying the effect of the ZigBee network's mode of operation on the evaluation of performance parameters

Dr. Naji Mohamad *

(Received 18 / 1/ 2022 . Accepted 3/ 4/ 2022)

□ ABSTRACT □

Wireless networks play an increasingly important role in people's daily lives. ZigBee is a short-range wireless communication technology, with low rate, low power consumption, high security and high capacity characteristics. ZigBee is widely used in various fields such as the Internet of Things, wireless sensor networks, and medical services.

ZigBee is an important technology for research organizations and companies, where network performance evaluation and protocol optimization become the focus of constant study and research. In this article, a network is built based on NS2, and the ZigBee simulation platform is based on IEEE802.15.4. The performance indicators for ZigBee network are mainly packet loss rate, delivery rate, jitter, delay and throughput, with packet loss rate and delivery rate reflecting the reliability of the network.

The network performance was evaluated in the case of enabling and disabling the beacon, and the parameters were calculated based on the change in the time between transmissions. In addition, depending on the change in the behavior of the packet loss curve and the rate of change of the data throughput, the increasing and decreasing exponential functions were determined, respectively, as probability functions that control the behavior of the curves.

Key Words: ZigBee network, IEEE 802.15.4, NS2, performance rating, throughput, packet loss rate, delay, beacon.

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

1- المقدمة:

بالنسبة لمعظم الشبكات اللاسلكية، يُطلب من النظام عمومًا الحصول على معدل نقل بيانات مرتفع ومسافة نقل طويلة. في تطبيقات مثل (التحكم الصناعي، والرصد البيئي، والرصد التجاري، والكثرونيات السيارات، وشبكات التحكم الرقمية المنزلية، إلخ)، يكون معدل نقل البيانات المطلوب منخفضًا بشكل عام، وتكون الأجهزة الطرفية التي يستخدمها النظام عادةً أجهزة مدمجة تعمل بالبطاريات، مثلًا تتطلب شبكات الاستشعار اللاسلكية أنظمة ذات تكلفة منخفضة واستهلاك منخفض للطاقة. استجابة لهذه الخصائص والاحتياجات وجدت ZigBee كتقنية شبكة لاسلكية منخفضة الطاقة ومنخفضة الإرسال ومنخفضة التكلفة. إذا تم اعتماد التكنولوجيا اللاسلكية التقليدية، مما يجعل تقنية ZigBee أكثر استخدامًا على نطاق واسع.

2- أهمية البحث أهدافه:

تعد بيئة ZigBee مجال هام ومحور دراسة مستمر للباحثين. تكمن أهمية البحث في تقييم أداء شبكة ZigBee في حال وضع التمكين وعدم التمكين من استخدام المنارة. فمن خلال التحكم بالزمن الفاصل بين الإرسالات تم حساب وتقدير بارامترات الأداء باستخدام توابع الملائمة (fitting function) يتم تمثيل سلوك البارامترات من خلال التوابع الاحتمالية الرياضية.

3- طرائق البحث ومواده :

1-3- الميزات التقنية لـ ZigBee : و تبرز أهمية ZigBee في الجوانب التالية:

1-1-3 انخفاض استهلاك الطاقة: يعد بشكل عام معدل بيانات التطبيق الذي يحمله الجهاز في شبكة ZigBee منخفض نسبيًا، ويمكن للجهاز أن يدخل في حالة السكون عندما لا يحتاج إلى الاتصال. كما يبلغ نسبة استهلاك الطاقة واحدًا بالألف من حالة العمل العادية. يحدد بروتوكول ZigBee أيضًا وظائف الكشف عن الطاقة ومؤشر جودة الوصلة، بحيث يمكن للجهاز ضبط طاقة الإرسال تلقائيًا لتقليل استهلاك الطاقة مع ضمان جودة رابط الاتصال [12][11][2]. بهذه الطريقة، تكون طاقة خرج الإرسال لكل جهاز تتراوح بين 3.6dBm-0. في وضع استهلاك الطاقة المنخفض، يمكن أن تدعم بطاريتان عاديان عقدة واحدة للعمل لمدة 6 إلى 24 شهرًا على الأقل. يعد استهلاك الطاقة المنخفض أكبر ميزة تقنية لـ ZigBee [2].

2-1-3 انخفاض التكلفة: يعد بروتوكول ZigBee بسيط ويتطلب مساحة تخزين أقل ، ومتطلبات أقل لوحدات التحكم في الاتصالات ، وبروتوكول ZigBee خالٍ من حقوق الملكية (مفتوح المصدر) ، مما يقلل بشكل فعال من تكلفة ZigBee، التي تكلف حوالي 2 دولار فقط لكل رفاق [1] .

3-1-3 معدل منخفض: يوفر معدل التشغيل المنخفض لـ ZigBee سرعة نقل بيانات أولية تصل إلى 250 كيلو بت في الثانية و 40Kbps و 20Kbps ، وهو ما يكفي فقط لتطبيقات نقل البيانات ذات المعدل المنخفض مسافة قصيرة دون استخدام مضخم الطاقة، يتراوح نطاق الإرسال الفعال لعقدة ZigBee عادةً بين 10 و 75 مترًا، وهو يغطي المنازل والمكاتب العادية [13][3].

3-1-4 تأخير منخفض: تتميز ZigBee بسرعة استجابة سريعة، وعمومًا، يكون تأخير البحث في الجهاز 30 ميلي ثانية، وتأخير تنشيط السكون 15 ميلي ثانية، وتأخير الوصول إلى قناة الجهاز النشط 15 ميلي ثانية. هذا يوفر استهلاك الطاقة من جهة ويجعل تقنية ZigBee أكثر ملاءمة للحالات الحساسة للتأخير من ناحية آخر [3].

3-1-5 قدرة عالية: يمكن لكل منسق في شبكة ZigBee إدارة 255 جهازًا في وقت واحد، ومن خلال إدارة أجهزة الشبكة، ويمكن أن تستوعب ما يصل إلى 65000 جهاز [4]. في مجال الاتصالات اللاسلكية، لا توجد مزايا أو عيوب مطلقة في التقنيات المختلفة. كل معيار له مميزاته الخاصة في مجالات التطبيق المختلفة. الجدول (1) هو مقارنة بين العديد من تقنيات الاتصالات اللاسلكية الرئيسية، والتي يمكننا من خلالها أيضًا رؤية مزاياها ونطاقات تطبيقاتها.

الجدول (1) مقارنة بين العديد من تقنيات الاتصالات اللاسلكية قصيرة المدى [4]

المواصفة	Bluetooth	UWB	Wi-Fi	ZigBee
نطاق العمل	IEEE802.15.1	IEEE802.15.4a	IEEE802.11	IEEE802.15.4
معدل النقل	2.4GHz	3.1~10.6GHz	2.4GHz/5.8GHz	868/915MHz 2.4GHz
معدل الإرسال	723kbps	110Mbps~1.6Gbps	10~105Mbps	20kbps/40kbps 250kbps
مجال (مسافة) العمل	10m	4~20m	10~100m	10~300m
استهلاك الطاقة	1~100mW	1mW	100mW	1~3mW
التكاليف	متوسط	منخفض	متوسط	منخفض
السعة	8	128	32	65000

3-1-6 نماذج الانتشار: يدعم NS2 ثلاثة نماذج انتشار لاسلكي: نماذج Free Space و Shadowing و TowRayGround يمكن لنماذج الانتشار هذه أن تساعد العقد المنتقلة على التنبؤ بطاقة كل إشارة رزمة تم استقبالها، كما أن نموذج الانتشار اللاسلكي هو أيضًا سمة من سمات العقدة، والتي يمكن ضبطها أثناء تكوين العقدة. ويضع نموذج التظليل داخليًا نموذجًا لتخامد الإشارة، لذلك يُستخدم بشكل عام لمحاكاة الشبكة اللاسلكية [5][6][11].

3-1-7 بارامترات الأداء: يتم تحديد مؤشرات أداء متعددة في المحاكاة من أجل قياس الأداء التشغيلي للشبكة اللاسلكية، ويمكن الحصول على حالة التشغيل والموثوقية لشبكة ZigBee من خلال هذه المؤشرات. تركز مؤشرات الأداء نقل البيانات، و الزمن الفاصل بين الإرسالات.

3-1-7-1 تأخير الإرسال: يشير "تأخير الانتشار" إلى الزمن الذي يستغرقه إرسال الرزمة إلى استلامها. يشير تأخير الإرسال إلى كل رزمة بيانات فردية. طالما يتم إرسال رزمة البيانات بنجاح، ستكون هناك درجات متفاوتة من التأخير، بما في ذلك رزم البيانات التي ترسل بشكل متكرر. متوسط تأخير إرسال جميع رزم البيانات للحصول على متوسط تأخير الإرسال، والذي يمكن استخدامه لقياس أداء الإرسال الإجمالي للشبكة [10]. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يعكس تأخير الإرسال أيضًا سعة الطبقة الفرعية للتحكم في الوصول للوسط، كلما زاد زمن

التأخير انخفضت السعة. يمكن الحصول على تأخير الإرسال ومتوسط تأخير الإرسال من خلال العلاقات (1) و (2)

$$\text{Packet delay} = \text{Time receive} - \text{Time transmit} \quad (1)$$

$$\text{Average delay} = \frac{\text{Sum packet delay}}{\text{Sum packet receive}} \quad (2)$$

يعبر Packet delay : تأخير إرسال الرزمة ، Time receive : زمن استلام الرزمة ، Time transmit : زمن إرسال الرزمة ، Average delay : متوسط تأخير الإرسال ، Sum Packet delay : مجموع تأخيرات الإرسال لجميع الرزم ، Sum Packets

3-1-7-2 معدل ضياع الرزمة: يشير معدل ضياع الرزم إلى نسبة عدد رزم البيانات الضائعة إلى رزم البيانات المرسله أثناء المحاكاة. بشكل عام، يرتبط معدل ضياع الرزم بطول رزمة البيانات وتكرار إرسال الرزم. ينتج ضياع الرزمة الرزمة عن أخطاء نقل الشبكة أو ازدحام الشبكة. على غرار تأخير الإرسال، تؤخذ الإرسالات المتكررة أيضاً في الاعتبار عند حساب ضياع الرزم. عندما يفشل إرسال رزمة بيانات، فسوف تنتظر الإرسال التالي. سيؤثر أيضاً على أداء الشبكة في الزمن الحقيقي مثل تأخير الإرسال. بالنسبة لبعض التطبيقات، سيؤدي ضياع الرزمة إلى إعادة إرسال البيانات، مما يزيد من تأخير الإرسال [7]. يشير معدل ضياع الرزم المرتفع إلى أن معدات الشبكة معطلة أو أن حمل الشبكة كبير جداً، لكن معدل ضياع الرزمة المنخفض لا يشير بالضرورة إلى أن الشبكة معطلة. تعاني العديد من الخدمات من مقدار ضئيل من ضياع الرزم. في ظل هذه الظروف، يمكن أن يعبر عن معادلة حساب معدل ضياع الرزمة وفق العلاقة (3):

$$\text{Packet loss rate} = \frac{\text{packet lost}}{\text{packet sent}} \times 100\% \quad (3)$$

3-1-7-4 معدل التدفق (الإنتاجية): يشير معدل نقل البيانات في الشبكة (الإنتاجية) إلى إجمالي كمية البيانات المرسله في وحدة زمنية. نظراً لأن معدل نقل البيانات الذي يدعمه بروتوكول ZigBee منخفض نسبياً، يتم استخدام عدد البتات المرسله في وحدة زمنية على أنها سرعة النقل [9]. في الوقت نفسه، لا يأخذ هذا المؤشر سوى في الاعتبار إجمالي إنتاجية البيانات، ولا يأخذ في الاعتبار الترويسة. ينقسم معدل النقل في المحاكاة إلى معدل نقل العقدة ومتوسط الإنتاجية. معدل نقل العقدة هو مقدار البيانات التي تتلقاها هذه العقدة لكل وحدة زمنية، ومتوسط الإنتاجية هو متوسط إنتاجية جميع العقد في الشبكة. يحدد معدل نقل العقدة و متوسط الإنتاجية كما في العلاقتين (4) و (5):

$$\text{Throughput_node} = \frac{\text{packet receive bits}}{\text{Tine end} - \text{Time start}} \quad (4)$$

$$\text{Throughput_average} = \frac{\sum_{n=0}^N \text{Throughput_node}(n)}{N} \quad (5)$$

بهدف الدراسة و البحث في تقنية ZigBee ، لا بد من تقييم مؤشرات أداء الشبكة، تتمثل إحدى الطرق في إنشاء شبكة عوضاً عن إنشاء نظام شبكة فعلي الذي غالباً ما يكون مكلفاً مادياً؛ وتعتمد الطريقة الأخرى إلى برنامج محاكاة في الزمن الحقيقي لشبكة ZigBee لن يؤدي هذا إلى إنقاص فترة البحث فحسب، ولكن أيضاً تقليل التكاليف المادية بشكل كبير. يوجد العديد من برامج المحاكاة المنشرة نذكر منها (Opnet، Network Simulator) يعد NS2 عبارة عن نظام محاكاة شبكة مفتوحة المصدر. تغطي الوحدات التي تحتوي عليها جميع جوانب تكنولوجيا الشبكات تقريباً، مما يجعل NS2 تلعب دوراً متزايد الأهمية في البحث ضمن تكنولوجيا الشبكات. تحدد بنية الإطار الفائق من قبل المنسق، و تحدد بنية الإطار من خلال بارامترين SO و BO [8][13].

4- النتائج والمناقشة:

4-1 تكوين نموذج محاكاة ZigBee: يتم تشكيل بارامترات المحاكاة من خلال بناء نموذج التهيئة، وبناء محاكي، التكوين الطوبولوجي. كائنات الهيكل ، تعيين ملف الملاحقة ، إنشاء قناة لاسلكية ، تحديد موقع العقدة وتعريف التطبيقات و الأحداث.

4-2 إعداد وضع العمل لنموذج محاكاة ZigBee

4-2-1 وضع منارة (Beacon mode): يمكن أن يعمل نموذج المحاكاة لشبكة ZigBee في نمط التمكين للمنارة أو في نمط عدم التمكين. قبل تشغيل النموذج، تحتاج إلى ضبط شبكة ZigBee مسبقاً في وضع التشغيل. في لغة Otcl الخاصة بـ NS2، يمكنك ذلك استخدام العبارتين التاليتين لإعداد شبكة ZigBee في وضع التشغيل:

```
$ns_ at 0.0 "$node_ (0) sscs startPANCoord 1 1 1"
```

```
$ns_ at 0.5 "$ node_ (0) sscs startDevice 1 1 1"
```

العبرة الأولى لتعيين العقدة 0 كعقدة تنسيق، والعمل في وضع تمكين المنارة، و $txBeacon = 1$ ، $BO = SO = 1$.

العبرة الثانية لتعيين العقدة 1 كجهاز FFD، وتحتوي أيضاً على $BO = SO = txBeacon = 1$. 1

يمكن أيضاً استخدام العبرة التالية لتغيير وضع عمل العقدة أثناء تشغيل البرنامج:

```
node sscs startBeacon <BO = 3><SO = 3> بدء وضع تمكين منارة
```

```
node sscs stopBeacon إنهاء وضع تمكين منارة
```

4-2-2 نموذج الطاقة:

يستخدم الكشف عن الطاقة، كجزء من خوارزمية اختيار القناة، بشكل أساسي لتقدير قوة الإشارة ضمن عرض النطاق الترددي الفعال للقناة. إن تنفيذ نموذج الطاقة في NS2 بسيط للغاية، فهو يحدد مقدار الطاقة كخاصية في العقدة لعرض مستوى الطاقة الحالي للعقدة. ستستهلك العقد الطاقة عند إرسال البيانات واستلامها والوظائف المرتبطة بها على تقليل مستوى طاقة العقدة وفقاً لذلك. في بداية المحاكاة، يمكن ضبط الطاقة الأولية لتهيئة طاقة العقدة.

إعداد البارامترات لنموذج محاكاة ZigBee يتم من خلال الجدول (2) .

الجدول (2) يمثل إعدادات البارامترات لنموذج محاكاة NS2 المستخدم من قبلنا.

البارامترات الأساسية للمحاكاة	
data flow	CBR
Number of main nodes/number of nodes	1/56
broadcast model	Shadowing
Antenna type	Omni Antenna
Node movement status	None
Queue type	Drop Tail
Node distance	3m/10m/15m
Queue length	150
Packet size	100bytes
Send gain / receive gain	1
Frequency band selection	2.4GHz
Number of channels / Path loss	3/1
Data transmission method	Direct transmission
Routing protocol	AODV

في عملية المحاكاة، من العوامل الرئيسية التي تؤثر على مؤشرات أداء الشبكة هي الفاصل الزمني لنقل البيانات ونوع الجهاز ونمط عمل الشبكة. سيتم استخدام Gawk و Gnuplot بشكل أساسي لتحليل عملية محاكاة شبكة ZigBee.

4-2-3 البارامترات المقاسة:

4-2-3-1 زمن انشاء الروابط: في عملية محاكاة شبكة ZigBee، يجب أولاً بدء العقدتين الرئيسيتين والتابعة وإنشاء الارتباط بين بعضهما البعض. عندما تعمل الشبكة في الوضع بدون منارة، يمكن للعقد التابعة البالغ عددها 55 في شبكة ZigBee إنشاء روابط فعالة مع العقدة الرئيسية في غضون 15 ثانية. وعندما تعمل الشبكة في وضع تمكين المنارة، سيستغرق إنشاء الارتباط وقتاً أطول بسبب إرسال المنارة حوالي 35 ثانية على الأقل لـ 55 عقدة تابعة لإنشاء ارتباط موثوق به مع العقدة الرئيسية عندما يتم تخصيص البارامترات التالية $SO=BO=3$ كما في الشكل (1).

```

3.858208](node 45) scanning channel 12
3.894272](node 54) sending data request command .
3.895520](node 54) ack for data request command r
3.897888](node 54) association response command r
3.897888](node 54) association successful (non-be
4.091840](node 55) sending data request command .
4.093088](node 55) ack for data request command r
4.095456](node 55) association response command r
4.095456](node 55) association successful (non-be
4.120288](node 45) scanning channel 13
4.383968](node 45) sending association request to
4.385056](node 45) sending association request co
4.386528](node 45) ack for association request co
4.878048](node 45) sending data request command .
4.879297](node 45) ack for data request command r
4.881665](node 45) association response command r
4.881665](node 45) association successful (non-be
ansmitting data ...

3.526080](node 55) scanning channel 13
3.680864](node 54) sending data request command ...
3.682144](node 54) ack for data request command receive
3.684608](node 54) association response command receive
3.684608](node 54) association successful (beacon enabl
3.684608](node 54) begin to synchronize with the coordi
3.788160](node 55) sending association request to [chan
3.789888](node 55) sending association request command
3.791584](node 55) ack for association request command
4.283104](node 55) sending data request command ...
4.284384](node 55) ack for data request command receive
4.286848](node 55) association response command receive
4.286848](node 55) association successful (beacon enabl
4.286848](node 55) begin to synchronize with the coordi
ansmitting data ...

EXITING...
EXITING...

```

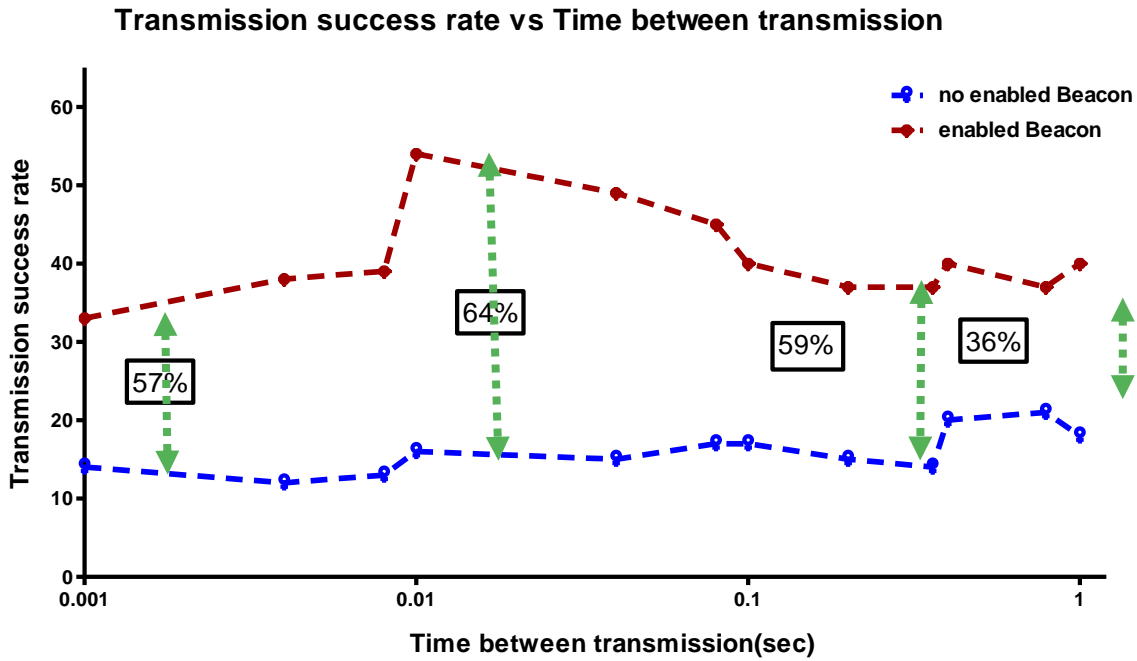
(A) تمكين المنارة

(B) عدم تمكين المنارة

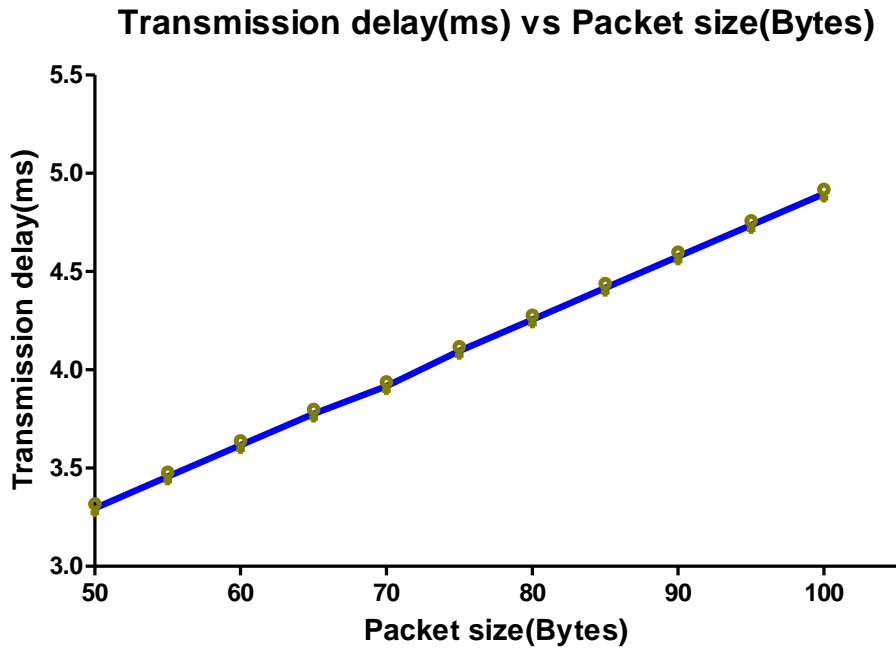
الشكل (1) زمن بدء تشغيل الجهاز في وضع عدم تمكين المنارة (A) و تمكين المنارة (B)

4-2-3-2 معدل نجاح الإرسال: يشير معدل نجاح الإرسال هنا إلى نسبة عدد العقد التي يمكنها استقبال رزم البيانات بنجاح إلى العدد الإجمالي للعقد. في سيناريو المحاكاة لشبكة ZigBee، نظرًا للعدد الكبير من العقد والمسافة الطويلة بين العديد من العقد والمنسق، سيؤدي ذلك إلى فشل العديد من العقد في تلقي رزم البيانات بنجاح. عندما تعمل شبكة ZigBee في وضع تمكين المنارة، سيتم تحسين معدل نجاح نقل البيانات بشكل كبير كتابع للزمن الفاصل بين الإرسال بين (36%) إلى (64%) مقارنة مع حالة عدم تمكين المنارة، كما هو موضح في الشكل (2).

4-3-2-3 تأخير الإرسال: في عملية المحاكاة، يتم إرسال رزم البيانات من المنسق إلى كل عقدة تابعة بالتسلسل. أثناء نقل البيانات، لا تحتاج الرزمة للانتظار في رتل انتظار العقدة. في هذه الحالة، لن يتأثر تأخير الإرسال إلا بحجم الرزمة. كلما زادت رزمة البيانات، سيزداد تأخير الإرسال، كما هو موضح في الشكل (3).



الشكل (2) يمثل معدل نجاح نقل البيانات بشكل كبير كتابع للزمن الفاصل بين الإرسال



الشكل (3) يمثل تغير تأخير الإرسال مع حجم الرزمة

4-2-3-4 معدل فقدان الحزمة: سيتأثر معدل فقدان الرزم أيضًا بالفاصل الزمني لإرسال البيانات. كما هو

مبين في الشكل (4)، يمكننا استنتاج نقطتين هامتين :

الأولى: عندما يتجاوز الفاصل الزمني لإرسال البيانات 0.2 ثانية ، سيزداد معدل خسارة الرزم بشكل كبير. و

بالتالي من خلال التحكم بالزمن الفاصل بين الإرسالات يمكن التحكم بمعدل فقدان الرزم.

الثانية: يسلك منحنى معدل ضياع الرزم كتابع للزمن الفاصل بين الإرسالات سلوك التابع الأسّي كما في الشكل

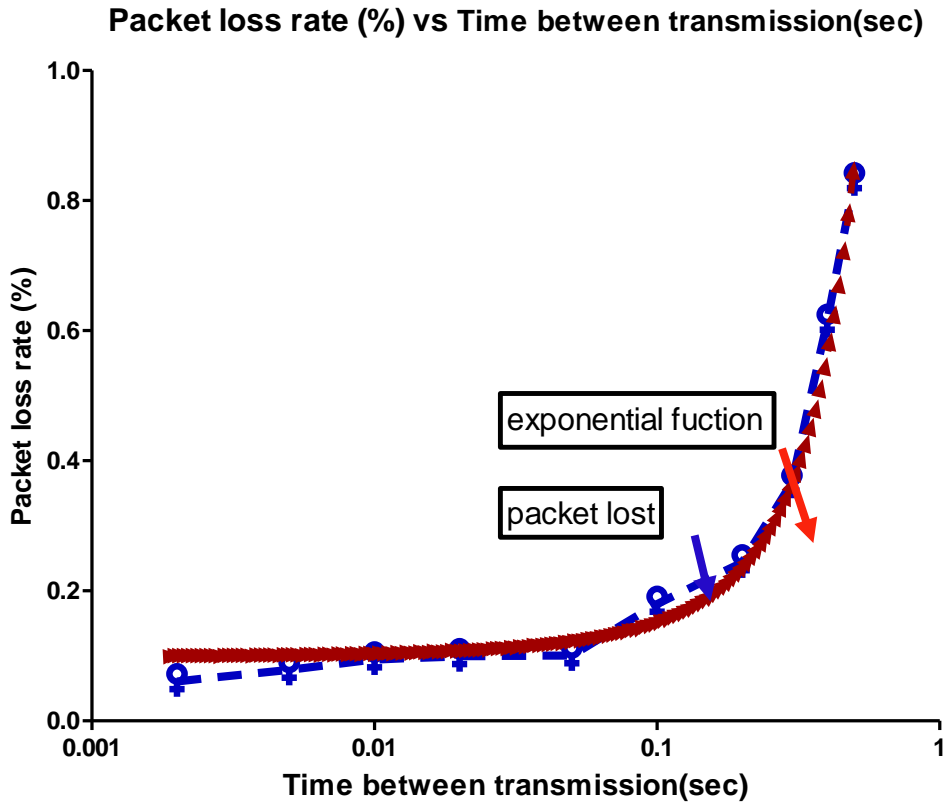
(4) ، و تمثل العلاقة الرياضية المعبرة عن التابع الأسّي وفق العلاقة (7)

$$Y = Y_0 * e^{(K*X)} \quad (7)$$

$$K = 4.319$$

$$Y_0 = 3.09933$$

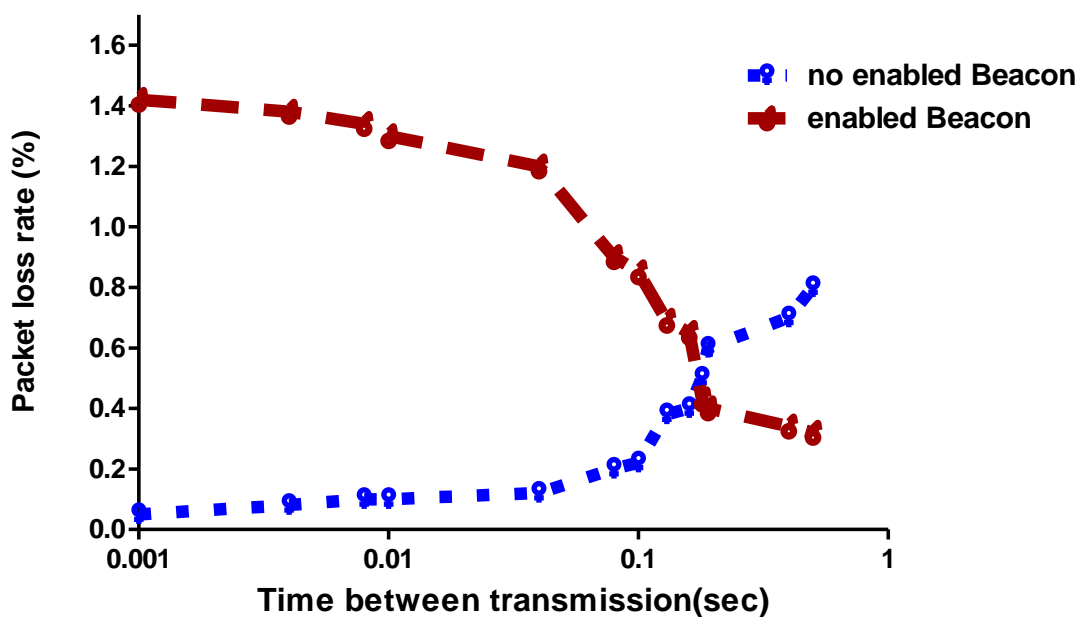
تأخذ الثوابت القيم



الشكل(4) يمثل معدل ضياع الرزم كتابع للفاصل الزمني لإرسال البيانات

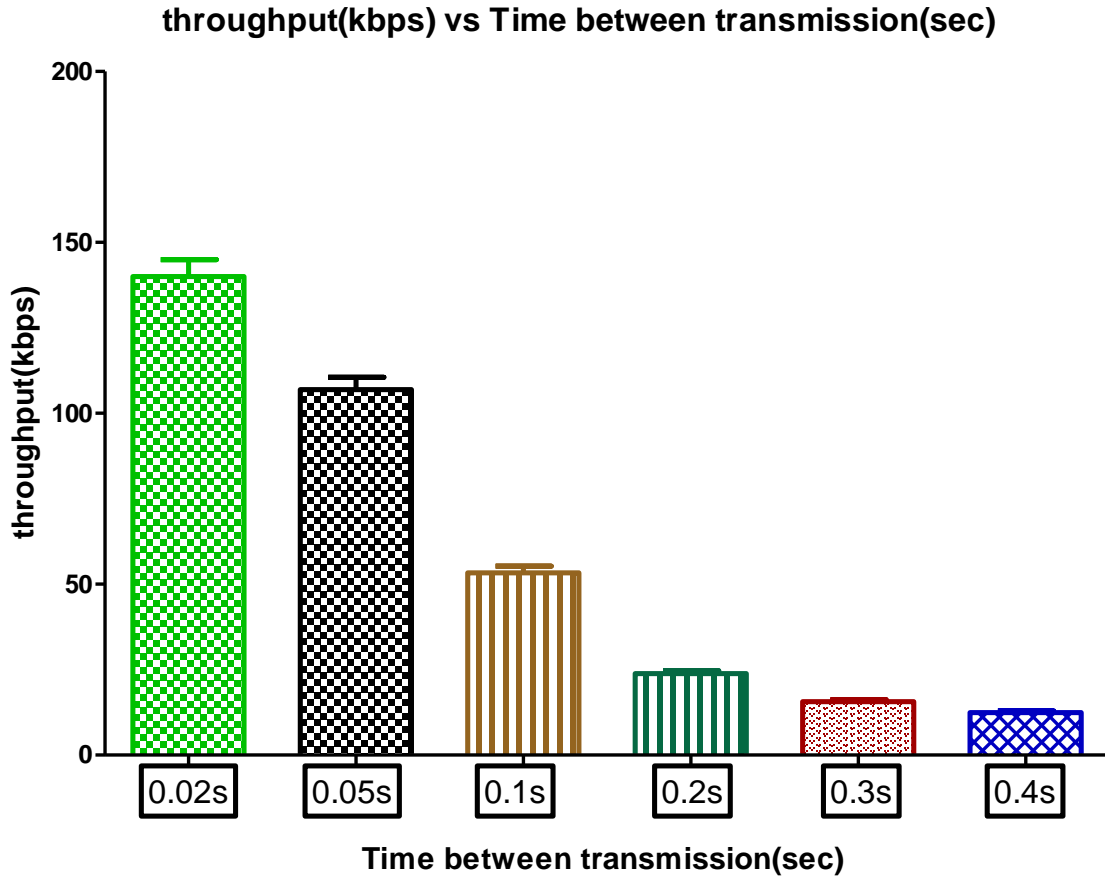
من ناحية أخرى، سوف يتأثر معدل فقدان الحزمة بوضع عمل الشبكة. كما هو مبين في الشكل (5)، عندما تعمل الشبكة في الوضع غير الممكن للمنارة، يكون معدل ضياع الرزمة منخفضاً بشكل عام أقل من 0.1%، بينما في وضع تمكين المنارة، لأن الشبكة تحتاج إلى نقل ترويسات مثل المنارة، يزيد معدل ضياع الحزمة بين 0.4% و 1.4%. يوضح هذا أيضاً أن وضع تمكين المنارة له تأثير كبير على معدل فقدان الحزمة لشبكة ZigBee.

Packet loss rate (%) vs Time between transmission(sec)



الشكل (5) يمثل معدل فقدان الحزمة كتابع لحالة عمل الشبكة

4-2-3-5 معدل نقل البيانات: عندما تعمل شبكة ZigBee في الوضع غير تمكين المنارة، في ظل حالة حجم رزم بيانات معين، فكلما قل الفاصل الزمني لنقل البيانات، زاد معدل نقل الشبكة. يوضح الشكل(6) الفاصل الزمني لإرسال البيانات في وضع عدم تمكين . non-beacon. يمكن ملاحظة أنه مع زيادة الفاصل الزمني لإرسال البيانات، يتناقص معدل نقل البيانات في الوقت الحقيقي باستمرار.



الشكل (6) معدل نقل البيانات عند أزمان مختلفة للفواصل الزمنية لإرسال البيانات في وضع عدم تمكين non-beacon.

الجدول (3) يمثل سمات وخصائص معدل التدفق عند قيم مختلفة للزمن الفاصل بين الإرسال

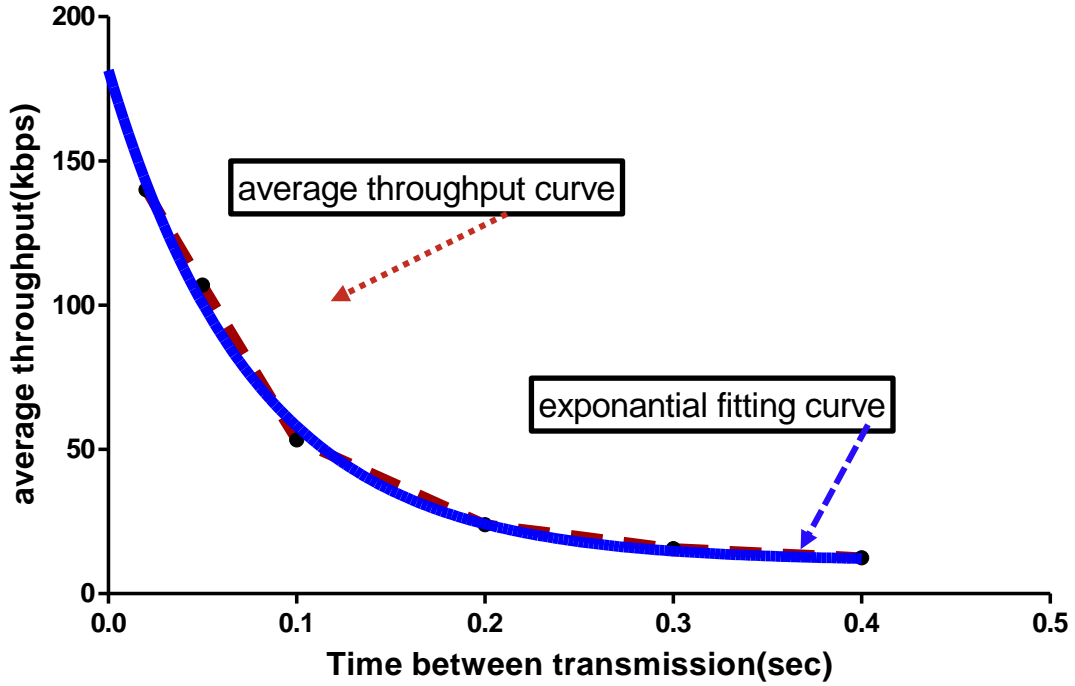
Number of values	32	32	32	32	32	32
Minimum	40.00	30.00	15.00	5.000	6.000	5.000
Maximum	152.0	115.0	65.00	26.00	18.00	16.00
Mean	140.0	107.0	53.34	23.88	15.66	12.47
Std. Deviation	27.71	20.46	11.09	4.390	3.096	2.782
Std. Error	4.898	3.617	1.960	0.7761	0.5474	0.4918

من خلال دراسات الخواص الإحصائية للمعطيات المتعلقة بمعدل نقل البيانات كتابع للفواصل الزمنية بين الإرسالات في حالة عدم تمكين المنارة. يمكن الحصول على الجدول (2) الذي يمثل السمات والخصائص لمعدل التدفق عند قيم مختلفة للزمن الفاصل بين الإرسال.

اعتماداً على الجدول (2) وبأخذ القيم المتوسطة للتدفق عند قيم محددة للزمن الفاصل بين الإرسال. نجد أن سلوك منحنى معدل التدفق يخضع للتابع الأسّي المتناقص يدعى (One phase decay) كما موضح

بالشكل (7)

average throughput curve & exponential fitting curve



الشكل (7) يمثل سلوك معدل تغير التدفق عند قيم مختلفة للفواصل الزمني بين الإرسالات

يعطى الشكل العام المعروف لمعادلة التابع الأسّي المتناقص وفق العلاقة (8) وتحدد قيمة المطابقة لسلوك تغير معدل التدفق كتابع للزمن الفاصل بين الإرسال وفق العلاقة (8)

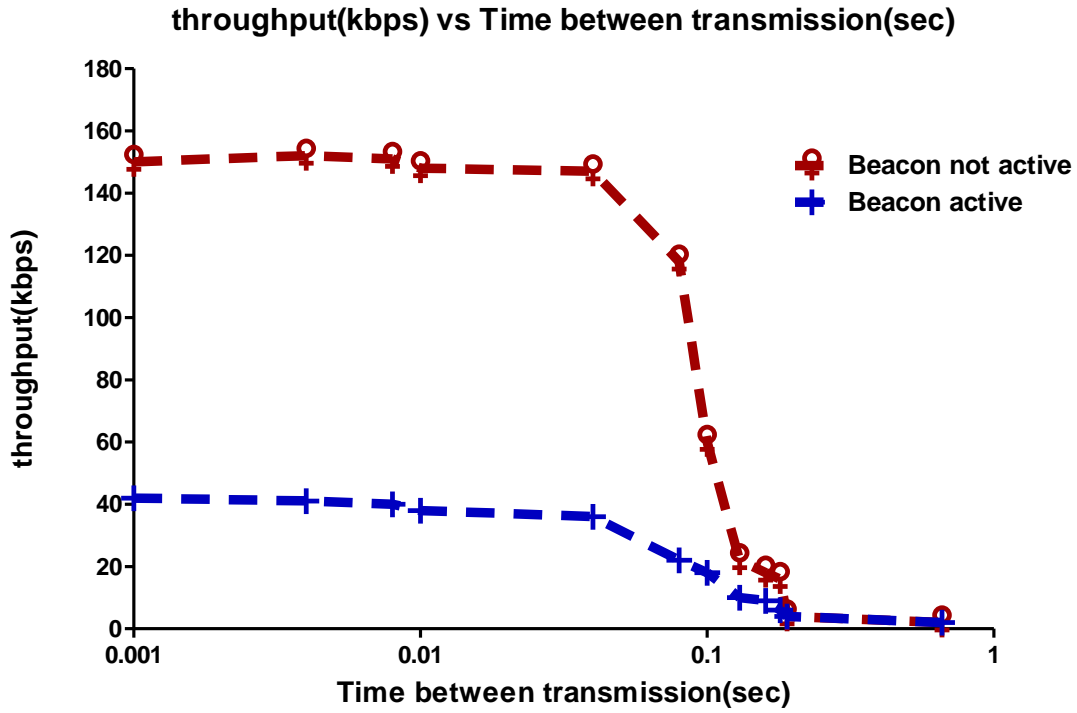
$$Y = (Y_0 - \text{Plateau}) * \exp(-K * X) + \text{Plateau} \quad (8)$$

Y_0 : قيمة Y عند $X=0$ ، Plateau : قيمة Y عندما ينتهي الزمن إلى اللانهاية، K : معدل ثابت، Span : الفرق بين القيمة Y_0 و Plateau . و يوضح الجدول (4) بارامترات التطابق و التابع الأسّي المتناقص

الجدول(4) يمثل التابع الأسّي المتناقص و قيم بارامترات التطابق.

	<p>$Y_0=181$</p> <p>$\text{Plateau}=11.18$</p> <p>$K=12.89.$</p> <p>$\text{Span}=170.2$</p>
--	---

يتقلب معدل النقل مما يشير إلى أن حالة الشبكة غير مستقرة؛ ويظهر من خلال الانحراف المعياري على وجود تقلبات كبيرة حول معدل التدفق عندما الزمن الفاصل بين الإرسالات يكون منخفض، تتخفف التقلبات مع نقصان الزمن الفاصل بين الإرسالات. يحقق الزمن الفاصل بين الإرسالات أفضل قيمة لمعدل التدفق تصل إلى 140.0 و نسبة انحراف القيم عن القيمة المتوسطة 19% تكون حالة تشغيل الشبكة أكثر فاعلية و استقرار. من ناحية أخرى، ستخفف الإنتاجية للشبكة أيضاً بوضع تمكين المنارة، ستم إضافة الكثير من الترويسة الإضافية، مما سيؤدي إلى انخفاض في الإنتاجية. هذا التأثير واضح من الشكل(8).



الشكل (8) يمثل معدل نقل الشبكة كتابع للزمن الفاصل لإرسال البيانات في حالتين (تمكين و عدم تمكين المنارة)

الاستنتاجات و التوصيات :

يعد نمط عمل شبكة ZigBee من خلال تمكين و عدم تمكين المنارة ذات تأثير على أداء شبكة ZigBee ، و يظهر ذلك من خلال دراسة و تحليل الأداء كتابع للزمن الفاصل بين الإرسال في حال استخدام المنارة و عدم استخدام المنارة كما يلي:

1- يرتبط زمن انشاء الروابط حسب اعتماد الشبكة على حالة وضع المنارة يقدم نمط تمكين المنارة تحسين في نقل البيانات يتراوح بين 36% و 64% مقارنة مع نمط عدم تمكين المنارة،، حيث يزداد الزمن اللازم لإنشاء الروابط في حالة تمكين المنارة أكثر من 50% مقارنة في حال عدم تمكين المنارة.

- 2- عدم وجود رتل انتظار، يعني أن زمن الانتظار معدوم وبالتالي يرتبط تأخير الإرسال فقط بحجم الرزمة ويأخذ سلوك خطي كتابع لحجم الرزمة.
- 3- يرتبط معدل ضياع الرزم بالزمن الفاصل بين الإرسال و يرتبط بنمط التمكين ، ينخفض معدل الضياع عند عدم التمكين مقارنة مع وضع التمكين و يأخذ منحنى معدل ضياع الرزم كتابع للزمن الفاصل بين الإرسال سلوك التابع الأسّي المتزايد.
- 4- كلما انخفض الفاصل الزمن بين الإرسالات زاد معدل نقل الشبكة في حال عدم تمكين المنارة مقارنة مع حالة تمكين المنارة. وليسلك المنحنى الممثل لمعدل نقل البيانات سلوك التابع الأسّي المتناقص في حال عدم التمكين.
- 5- تظهر التقلبات والتغيرات في معدل تدفق البيانات وتظهر من خلال الانحراف المعياري وتتنخفض التغيرات مع تناقص الزمن الفاصل بين الإرسال.
و يوصي الباحث:
- 1- تم الاعتماد في تمثيل عملية الإرسال على الزمن الفاصل بين الإرسالات و لم يؤخذ بعين الاعتبار وجود الرتل ، حيث يمكن من خلال التحكم بإدارة الرتل التحكم بتدفق البيانات.
- 2- لم يأخذ بعين الاعتبار تأثير معوقات البيئة على معدل ضياع الرزم.

المراجع

1. Artem Dementyev, Steve Hodges, Stuart Taylor, Josh Smith. "Power Consumption Analysis of Bluetooth Low Energy, ZigBee, and ANT Sensor Nodes in a Cyclic Sleep Scenario". Proceedings of IEEE International Wireless Symposium (IWS) | April 2013.
2. Jeetu Sharma*, Partha Pratim Bhattacharya and Manish Kumar Jha "Performance Analysis of ZigBee in Beacon Enabled and Beacon-less Network for Smart Grid Environments". Volume 7 , Issue 1 , 2017
3. M. Shyam and A. Kumar, "Performance analysis of unslotted CSMA/CA in IEEE 802.15.4 networks with star and tree topologies," Master's thesis, IISc, Bangalore, 2010
4. T. O. Kim, H. Kim, J. Lee, J. S. Park, and B. D. Choi, Performance Analysis of IEEE 802.15.4 with Non-beacon enabled CSMA/CA in Nonsaturated Condition, ser. Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin / Heidelberg, 2006, vol. 4096, pp. 884–893
5. . Nguyen, M. Laurent and N. Oualha, "Survey on secure communication protocols for the Internet of Things", Ad Hoc Networks, vol. 32, pp. 17-31, 2015.
6. Kang Eun Jeon, T. Tong, and J. She. Preliminary design for sustainable able beacons powered by solar panels. In 2016 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), pages 103–109, April 2016.
7. Ozer and E. John. Improving the accuracy of bluetooth low energy indoor positioning system using kalman filtering. In 2016 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI), pages 180–185, Dec. 2016.
8. P. Spachos, I. Papapanagiotou, and K. N. Plataniotis. Microlocation for smart buildings in the era of the internet of things: A survey of technologies, techniques, and approaches. IEEE Signal Processing Magazine, 35(5):140–152, Sept. 2018.
9. Mackey and P. Spachos. Performance evaluation of beacons for indoor localization in smart buildings. In 2017 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP), Nov. 2017.
10. Lino, M.; Leao, E.; Soares, A.; Montez, C.; Vasques, F.; Moraes, R. Dynamic Reconfiguration of Cluster-Tree Wireless Sensor Networks to Handle Communication Overloads in Disaster-Related Situations. Sensors 2020
11. Zhang, G.Y.; Shi, C.Y.; Han, C.Z.; Li, X.W.; Wang, D.; Rabie, K.; Rupak, K. Implementation-Friendly and Energy-Efficient Symbol-by-Symbol Detection Scheme for IEEE 802.15.4 O-QPSK Receivers. IEEE Access 2020, 8, 158402–158415.
12. Mraz, L.; Cervenka, V.; Komosny, D.; Simek, M. Comprehensive Performance Analysis of ZigBee Technology Based on Real Measurements. Wirel. Pers. Commun. 2013, 71, 2783–2803.