

## تقييم تأثير الازدحام على أداء بروتوكول IEEE 802.15.4 كتابع لمجال التحسس

ناجي محمد \*

(تاريخ الإيداع ١٨ / ٨ / ٢٠١٩ . قُبل للنشر ٢١ / ١٠ / ٢٠١٩)

### الملخص

يعد الازدحام عائقاً أمام تقديم شبكات بأداء مميز، ونظراً لزيادة التطبيقات والحاجة إلى ربط عدد كبير من الأجهزة لاسلكياً؛ وخصوصاً المراقبة اللاسلكية، التحكم بالمنزل، أجهزة استشعار الحركة والتطبيقات الصناعية وإدارة البيئة. لذلك يعد البروتوكول IEEE 802.15.4 مناسباً لهذه التطبيقات؛ لما يقدمه من معدل نقل منخفض واستطاعة منخفضة. فقد جرى استخدام المحاكاة كونها أداة مرنة لتقييم الأداء للشبكة المدروسة من خلال تحديد بارامترات الحركة المناسبة، ودراسة البارامترات الفيزيائية واختيار نمط الانتشار الراديوي الموافق للبروتوكول المدروس. كما جرى تحديد زمن حياة البطارية. يتميز هذا البحث بدراسة سلوكية منحنيات الأداء بالاعتماد على التوابع الاحتمالية. فقد بينا أن مجال التحسس كتابع لعتبة تحسس الوسط يتبع للتابع الأسّي. كما أن انخفاض معدل تدفق البيانات عن مستوى معين غير مناسب للتطبيقات؛ لذلك لا بد من تحديد عتبة تحسس الوسط المناسبة. وكما يوجد ارتباط بين معدل تسليم المعطيات وكل من التابع الأسّي المتناقص وتابع  $\text{Log(Gaussian)}$ ، وإن انخفاض معدل التأخير ليس دائماً بالضرورة انعكاس لأداء جيد. وكما في البيئات المزدهمة سيرتفع معدل استهلاك الطاقة.

الكلمات المفتاحية: IEEE 802.15.4، بارامترات الشبكة، مجال التحسس، التابع الأسّي، وتابع

$\text{Log(Goussian)}$ .

## Evaluating of the effect of congestion on the performance of a protocol IEEE 802.15.4 as function of sensing range

Naji Mohamad \*

(Received 18 / 8 / 2019 . Accepted 21 / 10 / 2019 )

### ABSTRACT

The congestion is an obstacle in high performance networks, due to increased applications and the need to connect a large number of devices wirelessly, especially wireless surveillance, home control, motion sensors, industrial applications and environmental management. The IEEE 802.15.4 protocol is suitable for these applications because of its low transmission rate and low power consumption. The simulation was used as a flexible tool for evaluating the performance of the studied network by determining the appropriate traffic parameters, studying the physical parameters and selecting the radio propagation pattern for the approved protocol. Battery life is determined. This study is characterized by behavioral study of performance curves based on probabilities. We have shown that the range of sensitivity as a follower of the threshold of sensitivity to the medium follows the exponential function. The decreasing of data flow at a certain level is not appropriate for applications, and the appropriate sensitivity threshold must be determined. There is also a correlation between the data delivery rate, both the exponential and Log (Gaussian) functions , the low delay rate is not always necessarily a reflection of good performance. In congestion environments, energy consumption will increase.

**Key Words:** IEEE 802.15.4, network performance, sensitivity range, exponential , Log(Goussian)

---

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

## المقدمة:

يعد IEEE 802.15.4 معيارًا لشبكة المنطقة اللاسلكية الشخصية (Personal Wireless Area Network) (PWAN) فهو مصمم لعدة تطبيقات مثل المراقبة اللاسلكية، التحكم بالمنزل، التحكم في الأضواء، أجهزة الإنذار الأمنية، أجهزة استشعار الحركة، أجهزة التحكم في الحرارة والتطبيقات الصناعية وإدارة البيئة وغيرها [7][6]. كما يحدد IEEE 802.15.4 تطبيقات التحكم في النفاذ إلى الوسط والطبقة الفيزيائية بهدف تحقيق استهلاك منخفض للطاقة. لا يمكن لأية تقنية تحقيق انتشار واسع النطاق إذا لم تكن مرنة بما يكفي لاستخدامها في جميع أنحاء العالم. وهذا أيضًا أحد الأسباب الرئيسة لفشل العديد من التقنيات الخاصة (الاحتكارية). ومع ذلك، فقد جرى تصميم IEEE 802.15.4 ليتم تطبيقه في جميع أنحاء العالم. [4] بحيث يسمح ذلك للمصنعين بالتركيز على الأجهزة التي يمكن أن تعمل في أي من القنوات المتاحة بناءً على خصائص القناة ومتطلبات النطاق الترددي واللوائح والقوانين المحلية الخاصة بكل بلد. ويدعم البروتوكول ثلاثة نطاقات تردد تشغيل مختلفة، مع عدد مختلف من القنوات الداعمة ومعدلات بت أيضًا. ويتأثر عمل البروتوكول بحسب البيئة التي يعمل ضمنها، فيمكن أن يقدم أداءً جيدًا من أجل عدد محدود من العقد [5]، ويمكن أن يتغير سلوك البروتوكول مع زيادة معدلات الإرسال ضمن الشبكة، مما يسبب حدوث ازدحام وما يترتب على ذلك من ضياع للرزق وانخفاض التدفق وزيادة التأخير، وبالتالي ستتأثر الطاقة ضمن العقد.

## أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في إجراء دراسة للبنية العامة لبروتوكول IEEE 802.15.4، وبنية الإطار الفائق. وكما تم تحديد بارامترات الحركة المناسبة، ودراسة البارامترات الفيزيائية واختيار نمط الانتشار الراديوي الموافق للبروتوكول المدروس. وجرى تحديد زمن حياة البطارية اعتماداً على المخططات الخاصة بها. ويعد الازدحام ضمن الشبكة من أكثر المعوقات التي تخفف أداء البروتوكول من حيث التأخير الحاصل للرزق، قياس الطاقة المستهلكة، معدل التسليم ومعدل تدفق المعطيات. ولكي تتميز هذه المقالة عن غيرها من الأبحاث التي تدرس أداء البروتوكولات، فقد قدمت دراسة عن سلوكية منحنيات الأداء بالاعتماد على التوابع الاحتمالية.

## طرائق البحث ومواده :

## ١\_بروتوكول IEEE 802.15.4 LR-WPAN:

يعتمد Zigbee في عمله على بروتوكول [1] IEEE 802.15.4، ويعمل في النطاق ٨٦٨ ميغاهرتز بمعدل بيانات يبلغ ٢٠ كيلو بايت في الثانية في أوروبا، ونطاق ٩١٤ ميغاهرتز في ٤٠ كيلو بايت في الثانية في الولايات المتحدة الأمريكية، ونطاقات ISM 2.4 جيجا هرتز في جميع أنحاء العالم بمعدل بيانات أقصى يبلغ ٢٥٠ كيلو بايت في الثانية. وبعض ميزاته الأساسية هي أنها تكنولوجيا لاسلكية معتمدة على المعايير، سهولة استخدامها في جميع أنحاء العالم، انخفاض معدلات البيانات، انخفاض استهلاك الطاقة للغاية، دعم الشبكات الصغيرة والكبيرة، تصميم بسيط، الأمن والموثوقية. وتحدد طبقة MAC مخططات طوبولوجية مختلفة للشبكة، بما في ذلك طوبولوجيا النجمة (حيث تعمل عقدة واحدة كمنسق شبكة، مثل نقطة وصول في IEEE 802.11)، طوبولوجيا شجرة (حيث تتواصل

بعض العقد عبر العقد الأخرى لإرسال البيانات إلى منسق الشبكة)، طوبولوجيا شبكة (Mesh) (حيث يتم توزيع مسؤوليات التوجيه بين العقد).

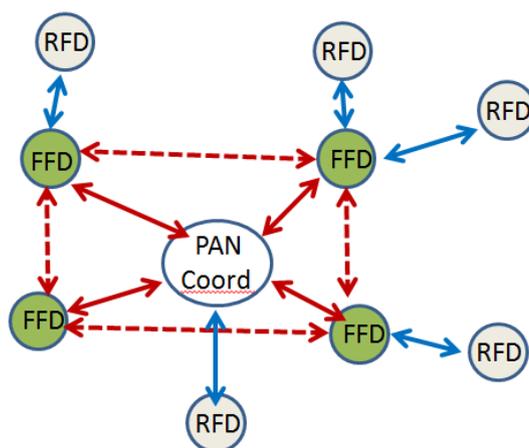
تتألف شبكة PWAN المطابقة لمعيار [8] IEEE 802.15.4 من عدة أجهزة :

- ١- المنسق (coordinator) : جهاز يُسمح له بتقديم خدمات المزامنة. يمكن أن يكون هناك نوعان مختلفان من المنسقين بناءً على نطاق التشغيل الخاص بهم. الأول هو: PAN-Coordinator ، الذي يعمل كمنسق لكامل PAN . بينما المنسق العادي يمكن أن يعمل ضمن نطاق عمل العنقود فقط.
- ٢- العنقود (cluster) : جزء صغير من شبكة كبيرة والتي لها منسق خاص بها. تتواصل العناقيد مع منسق PAN مركزي لتكوين PAN في طوبولوجيا شبكة (Mesh).
- ٣- عقد (Device/End Node) : العقدة إما أن تكون جهازاً منخفض الوظائف / كامل الوظائف. وأي جهاز ليس منسقاً هو عقدة نهاية.
- ٤- فضاء التشغيل الخاص (POS: Personal Operating Space) : نطاق تشغيل العقدة في جميع الاتجاهات، ويعد ثابتاً بغض النظر عن كون العقدة ثابتة أم متحركة.

تدعم LR-WPAN [8] نوعين من الأجهزة:

- **جهاز بوظائف كاملة (Full Function Device)** : جهاز قادر على تولي دور إما منسق PAN أو منسق عادي أو كعقدة نهائية (جهاز). كما يمكن أن يعمل FFD كجهاز توجيه [2].
- **جهاز بوظائف مخفضة (Reduced Function Device)**: لا يمكن للجهاز التواصل مع أي جهاز آخر غير المنسق. نظراً لوظائفها المنخفضة، فإن هذه الأجهزة مخصصة عادة للتطبيقات البسيطة. إنها ترسل فقط المعلومات إلى المنسق على فترات منتظمة حول حالة الجهاز الذي يراقبه [2] ولا تقوم بعمليات التوجيه.

تتشكل LR-WPAN من مزيج من الأجهزة السابقة كما هو موضح بالشكل (1)، حيث يعد FFD هو الجهاز الأكثر استخداماً في PAN. ولكن يجب أن يكون لدى أية شبكة PAN على الأقل جهاز FFD واحد ليعمل كمنسق PAN. ومع ذلك، وعندما لا يكون RFD قادراً على تلبية احتياجات التطبيق، يمكن الاستعاضة عنه باستخدام FFD. يجب أن تكون أجهزة PAN ضمن مجال تشغيل المنسق. ويدعم LR-WPAN ثلاثة أنواع من الطوبولوجيا المختلفة وهي النجمية (star)، ند - ند (Peer-Peer) والعنقود/ التوصيل (Cluster Tree/ Mesh) [2][3].



الشكل (1) يمثل آلية عمل عقد LR-WPAN

## ٢\_ بنية IEEE 802.15.4 LR-WPAN :

تحدد بنية LR-WPAN [8] [3] من خلال عدد من الطبقات، كل طبقة مسؤولة عن تقديم خدمات للطبقة الأعلى منها. ويشابه الشكل العام لبنية OSI [9]. ولكن المعيار IEEE 802.15.4 فقط حدد طبقات PHY وMAC، وبينما تركت طبقات التشبيك والتطبيقات لمطوري التطبيقات. يتألف جهاز LR-WPAN من PHY، والذي يحتوي على مرسل-مستقبل راديوي (RF) مع آلية تحكم بمستوي الطاقة وتمتاز بتفعيل وتعطيل المرسل-المستقبل الراديوي واختيار القناة. وتزود الطبقة الفرعية MAC النفاذ للقناة الفيزيائية لكافة أنواع نقل المعطيات، إدارة المنارة (Beacon)، إدارة فترة التنافس (Contention Free Period) CFP واستقبال إطارات الاستشعار بالقبول (ACK).

يعد التزامن العامل المهم في زيادة أداء الشبكة، لأن كل جهاز بحاجة إلى تحديد متى يكون جاهزاً للمنافسة على القنوات المتوفرة، ولتحقيق ذلك لا بد من تحديد فترات بدء مرحلة التنافس CAP (Contention Access Period)، هذا فيما يخص الأجهزة المتنافسة. أما فيما يتعلق بالأجهزة غير المنافسة (الحساسة للتأخير) فإما يخصص لها فترة بدون منافسة وإما حيزات زمنية مضمونة، ويرمز لها بـ CFP/GTS (Contention Free Period/Guaranteed Time Slots)، ولا بد من تحديد تلك الفترة. ومن يقوم بتلك الأعمال هو المنسق الذي ينجز ذلك من خلال دمج المعلومات ضمن المنارة (Beacon) والتي تشغل الحيز الأول في الإطار الفائق (Superframe).

## ٢-١ بنية الإطار الفائق (Superframe structure) :

تحدد بنية الإطار الفائق من قبل المنسق كما في الشكل (2)، ويملك المنسق القدرة على إيقاف إرسال المنارة. تقسم فترة الإطار الفائق إلى ١٦ حيزاً متتابعاً، يخصص الحيز الأول للمنارة، ويمثل القسم المتبقي من فترة الإطار الفائق CAP، CEP، والفترة غير الفعال (Inactive). تستخدم معلومات الإطار الفائق لتقديم التزامن، تحديد PAN وبنية الإطار الفائق إلى الأجهزة الموجودة ضمن شبكة WPAN. وتحدد بنية الإطار من خلال بارامترين:

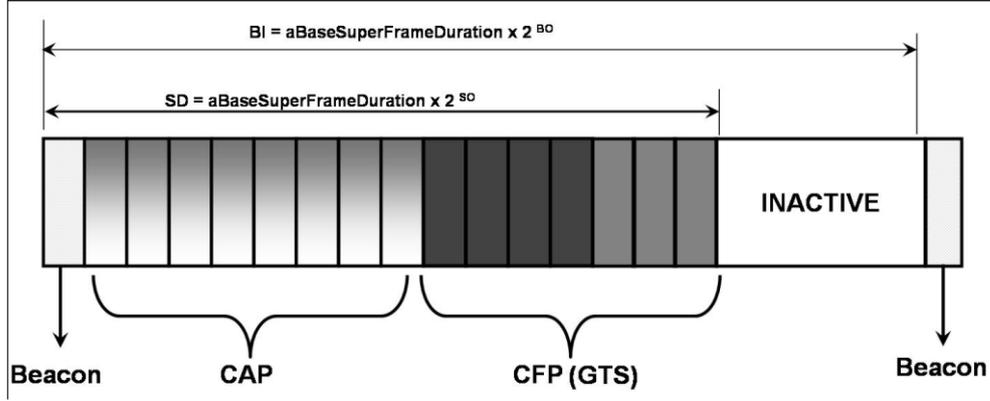
لتحديد طول فترة الإطار

• ترتيب الإطار الفائق (Superframe) SO: SO

الفائق.

لتحديد طول فترة المنارة.

• ترتيب المنارة (Beacon Order) BO: BO



الشكل ( 2 ) يمثل بنية الإطار الفائق

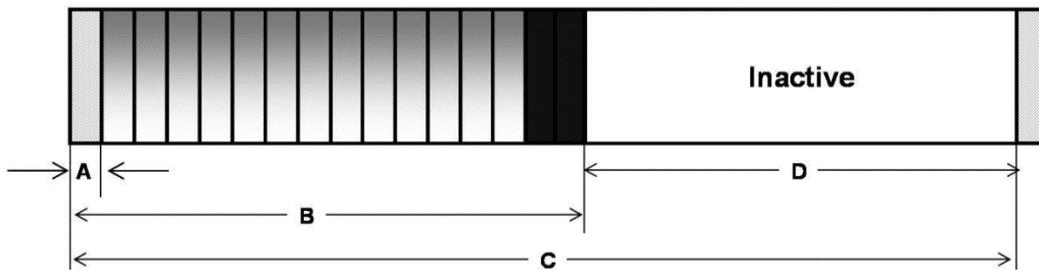
تحسب فترة المنارة والفترة الفعالة وفترة الخمول من خلال العلاقات الآتية:

$$a \text{ Base Super Frame Duration} = a \text{ Base Slot Duration} \times a \text{ Num Super frameSlots} \quad (1)$$

$$BI = a \text{ Base Super Frame Duration} \times 2^{BO} \text{ symbols} \quad (2)$$

$$SD = a \text{ Base Super Frame Duration} \times 2^{SO} \text{ symbols} \quad (3)$$

فمن أجل  $BO=15, SO=10$ ، عدد الحيزات الزمنية = 6،  $a \text{ Base Slot Duration} = 60 \text{ symbols}$  و معدل بت  $20 \text{ kb/sec}$ . تحدد القيم اعتماداً على المعادلات (1),(2),(3) والموضحة كما في الشكل (3)



الشكل (3) يمثل توزيع القيم المحددة لبنية الإطار الفائق

وتحسب النتائج لتعطي بالعلاقة الآتية:

$$A: \text{Base Slot Duration} = 3.07 \text{ sec}$$

$$B: SD = 49.15 \text{ sec}$$

$$C = BI = 1572 \text{ sec}$$

$$D = 1522.85 \text{ sec}$$

تستخدم المحاكاة كونها أداة مرنة لتقييم الأداء للشبكة المدروسة. سيتم استخدام المحاكى NS2، والذي يعد مناسباً لمحاكاة الشبكات وتطبيقاتها. ولإنجاز محاكاة صحيحة وصالحة. فلا بد من تحديد البارامترات بشكل دقيق ليعكس تحليلاً واقعياً للدراسة المطلوبة.

#### ٢-٢ بارامترات الحركة:

**نوع الحركة** : سيتم اختيار CBR/UDP (إرسال باتجاه واحد، حجم رزمة محدد، الفترة الفاصلة بين الرزم محددة واتصال غير موثوق لا يتطلب إعادة إرسال الرزم الضائعة). بدلاً من FTP/TCP (ارتباط معدل الإرسال بحالة الشبكة (مزدحمة أم غير مزدحمة)، قدرة مرسل TCP على التكيف بمعدل الإرسال مما سيحقق نسبة تسليم الرزم 100%، يعد بارامتر نسبة التسليم من البارامترات المطلوبة لقياس الأداء. ستتدفق الحركة من الأجهزة المحيطة باتجاه المنسق.

#### بارامترات العقدة:

عدد العقد الفعالة ١٥، سيتم استخدام الطوبولوجية النجمية، من خلال استخدام منسق واحد يستقبل البيانات من العقد المحيطة به. ويكون نصف قطر الدائرة التي تتوضع حولها العقد مساوياً لمجال تشغيل العقدة POS.

#### ٢-٣ البارامترات الفيزيائية:

**اختيار نمط الانتشار الراديوي**: توجد ثلاثة أنماط انتشار تستخدم لتقدير استطاعة الإشارة المستقبلية.

• يعتمد نمط الفضاء الحر (Free-Space Model) على وجود مسار مباشر بين المرسل

والمستقبل. ويتناسب مع الأس الثاني للمسافة.

• يعتمد نمط (Two Ray Ground Model) على وجود مسار آخر منعكس عن الأرض، يقدم

نتائج أكثر دقة من النمط البسيط ويتناسب مع الأس الرابع للمسافة.

• يستخدم نمط (Shadowing Model) من أجل المسافات الكبيرة بين المرسل والمستقبل كما في

الاتصالات الخلوية. ويأخذ بعين الاعتبار تأثيرات الخفوت والانتشار المتعدد المسار.

### النتائج والمناقشة:

إن توضع العقد حول المنسق لن يؤمن بشكل دائم وجود اتصال مباشر بين المرسل والمستقبل (نمط الفضاء الحر غير مناسب)، كما أن المسافة الفاصلة بين العقد والمنسق لن تتجاوز قيمة متراوحة بين (150-200)m (نمط shadowing غير مناسب لأنه يتعامل مع المسافات الكبيرة جداً). استناداً إلى ما سبق، في حالتنا المسافة الفاصلة بين المرسل والمستقبل غير كبيرة ويوجد مسار مباشر وغير مباشر بين المرسل والمستقبل سنأخذ نمط (Two Ray Ground Model) [11].

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r h_r^2 h_t^2}{d^4 L} \quad (4)$$

$P_r(d)$  : تعبر عن الطاقة المستقبلية، : تعبر عن الطاقة المرسلية، : ارتفاع هوائي الإرسال، : ارتفاع هوائي الاستقبال، : فقد المسار

بهدف إرسال الطاقة بشكل متساوٍ في جميع الاتجاهات، سيتم اختيار هوائي لا اتجاهي (Omnidirectional). لن يتم استخدام مضخم، سيحدد ربح المرسل مساوٍ لربح المستقبل ومساوٍ للقيمة واحد. ويهمل التخماد ضمن الوسط.

يتم حساب طاقة بطارية (AAAA ENERGIZER ALKALINE 2 PACK) المستخدمة كطاقة أولية / بداية لعقدة الشبكة. وتتميز تلك البطارية بالميزات الآتية كما في الجدول (1) والشكل (4).

الجدول(1) يمثل ميزات البطارية المستخدمة في العقد المدروسة

Manufacturer Part Number: E96BP-2	Typical Capacity: 625 mAh* (to 0.8 volts) (based on 25 mA continuous at 21°C)
Description: AAAA ENERGIZER ALKALINE 2 PACK	Nominal Voltage: 1.5 volts
Manufacturer: Energizer Battery Company	

يمثل الشكل (4) المنحنيات الخاصة بالبطارية وارتباط عمر البطارية بحسب حرارة العمل، فمن أجل درجة حرارة بين (25-21) درجة مئوية سيصل العمر حتى ٧ سنوات، فهذه الدرجات تمثل درجات الحرارة التشغيلية. من المخطط في الشكل (4) من أجل تيار تفريغ يساوي 16mA سيسمح بزمان عمل للبطارية مساوٍ حوالي 90 ساعة. أي أن مقدار الاستطاعة المتوفرة يساوي :

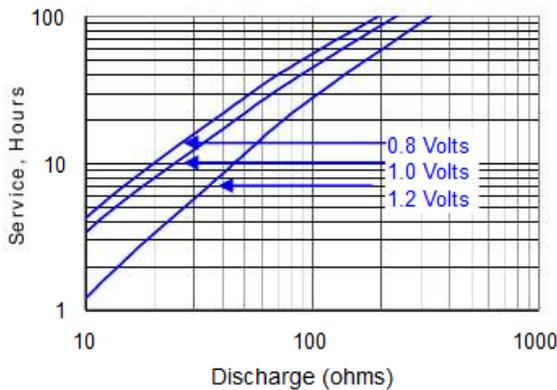
$$\text{Power} = 1.5 \times 16 = 24\text{mW}$$

$$\text{Energy} = 24 \times 90 \times 3600 = 7776\text{Joules}$$

تحدد الطاقة الأعظمية المرسله بحسب المعيار ETSI EN 300220 من أجل مجال ترددي 868Mhz بالقيمة الأعظمية 0.025W.

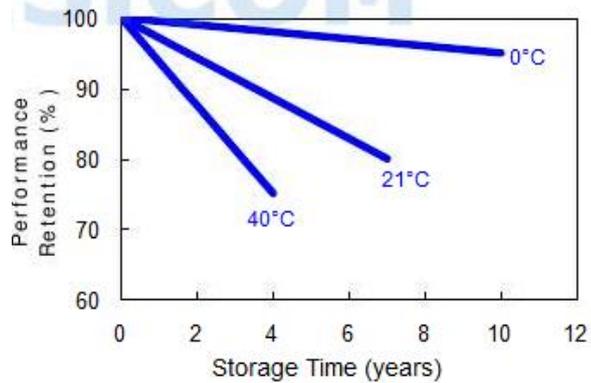
Constant Resistance Performance

Typical Discharge Characteristics (21°C)

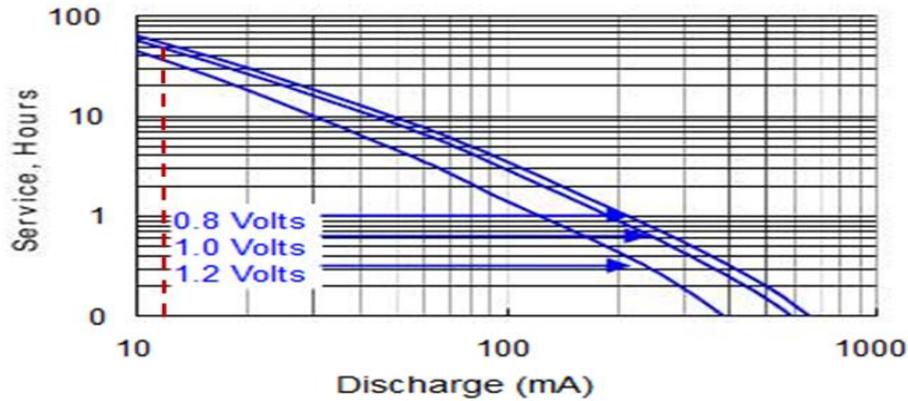


Storage/Capacity Characteristics

Effects of Storage at Various Temperatures



### Constant Current Performance Typical Discharge Characteristics (21°C)



الشكل (4) يمثل المنحنيات الخاصة بالبطارية المستخدمة في عقد الشبكة [10]

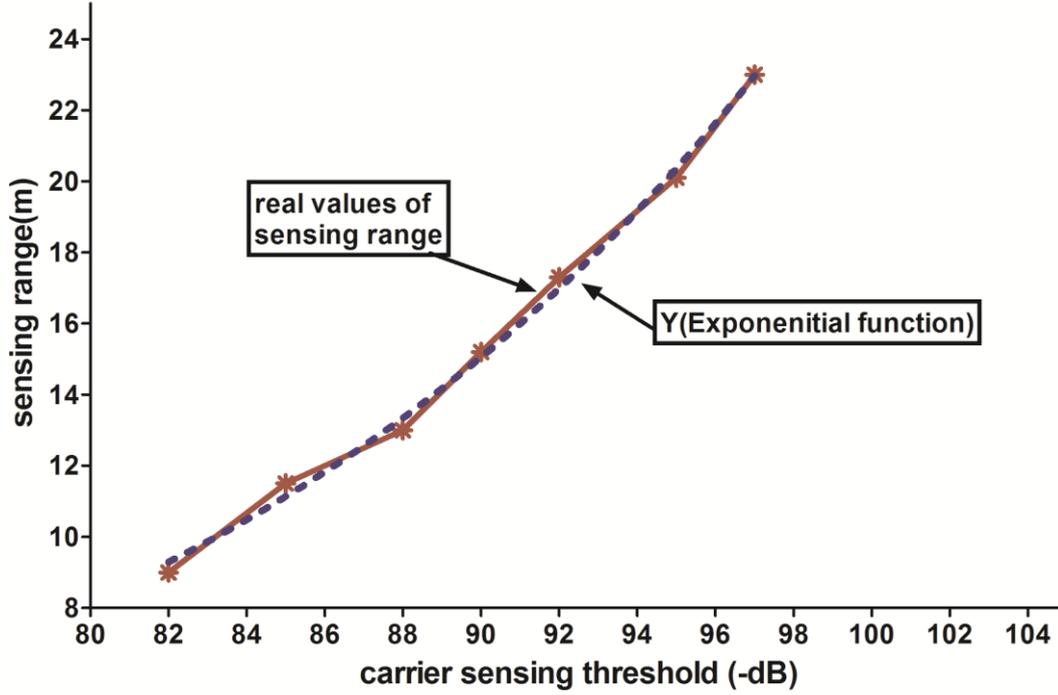
#### ١ تغير مجال التحسس كتابع لعتبة تحسس الوسط:

و تحدد عتبة الاستقبال بأنها مستوى الإطاقة الأقل للرزمة، ليتم تحديدها من قبل المستقبل بنجاح. وتحدد بالقيمة  $-97\text{dBm}$ . و تكون مساوية لعتبة تحسس الحامل  $P_{CSThresh}$  التي تعد مجال التحسس للعقدة، إذا كانت قوة الإشارة أكبر من هذه العتبة سيتم تحسس الإرسال، ولكن ذلك لا يضمن تحديد واكتشاف الرزمة بشكل دقيق، وبالتالي لا بد من كون مستوى الطاقة مساوياً على الأقل لعتبة المستقبل. ويكون دائماً الحد الأدنى لعتبة تحسس الوسط أقل من قيمة عتبة الحساسية المستقبل :

$$P_{CSThresh} = P_{RXThresh} \quad (5)$$

و استناداً إلى العلاقة (4) يمكن تحديد المسافة التي تفصل الأجهزة عن المنسق. ومن أجل قيم مختلفة لحساسية الاستقبال يمكننا إيجاد القيم المختلفة لبعدها عن المنسق والموضحة في الشكل (5).

sensing range(m) VS carrier sensing threshold



الشكل (5) يمثل تغير مجال التحسس كتابع لعتبة تحسس الوسط

يمثل الشكل (5) تغير مجال التحسس كتابع لعتبة تحسس الوسط. والذي يسلك سلوك التابع الأسّي المحدد

على الشكل من خلال التابع المنقط وفقاً للعلاقة :  

$$Y = Y_0 e^{kX} \quad (6)$$

و الجدول (2) يمثل بارامترات التابع المحدد لتغير مجال التحسس ومن أجل ( 95% Confidence

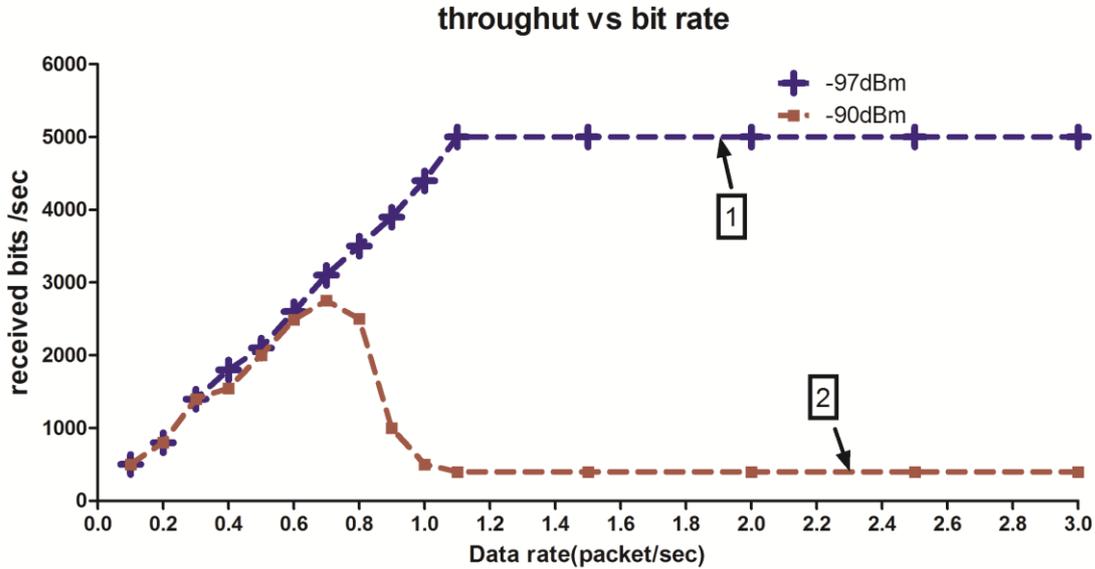
Intervals)، وكما هو موضح في الجدول فإن تغير قيم  $k$  يقع ضمن فترة الثقة.

الجدول (2) يمثل تغير بارامترات التابع الأسّي الممثل لتغير مجال التحسس.

$Y_0$	0.06584
$K$	0.06036
<b>95% Confidence Intervals</b>	
$Y_0$	0.03868 to 0.09301
$K$	0.05590 to 0.06481

## ٢ تأثير ازدحام الشبكة على معدل التدفق عند تغير عتبة تحسس الوسط (حساسية المستقبل):

ستتم دراسة تغير معدل التدفق كتابع لزيادة معدل الإرسال (زيادة ازدحام الشبكة) كما في الشكل (6) من القيمة  $0.1 \text{ packet/sec}$  حتى القيمة  $3 \text{ packets/sec}$ . ونميز حالتين :

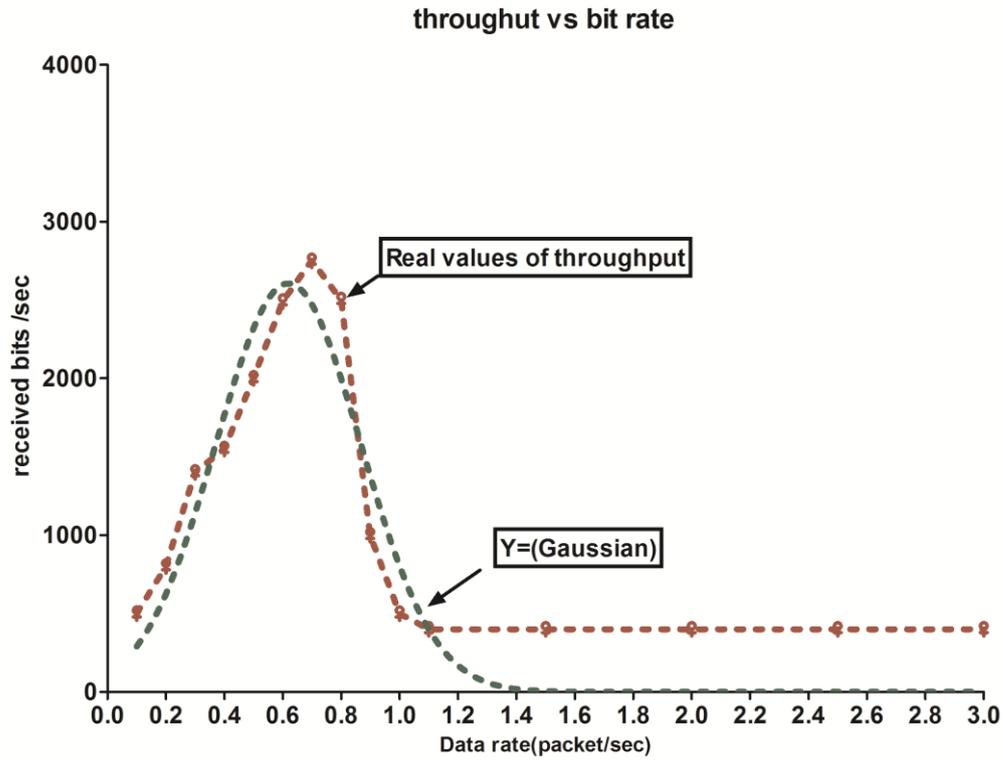


الشكل (6) يمثل تغير تدفق المعلومات كتابع لزيادة معدل الإرسال عند قيم مختلفة لعتبة تحسس الوسط

**عتبة تحسس الوسط  $-97\text{dBm}$  :** يزداد معدل التدفق خطياً مع زيادة معدل إرسال المرسل حتى تصل إلى القيمة  $5000 \text{ nits/sec}$  موافق لقيمة معدل إرسال المنبع  $(1,2) \text{ packets/sec}$ . وبعد تلك القيمة سيحصل ازدحام في الشبكة ومهما كانت زيادة في معدل الإرسال للمنبع لن نحصل على تدفق معطيات عند المستقبل أعلى من  $5000 \text{ bits/sec}$ .

**عتبة تحسس الوسط  $-90\text{dBm}$  :** يزداد معدل التدفق من أجل قيم منخفضة لمعدل إرسال المنبع حتى يصل إلى قيمة أعظمية تساوي  $2750 \text{ bit/sec}$  عند معدل إرسال يساوي  $0.7 \text{ packets/sec}$ ، ومع ازدياد معدل الإرسال سينخفض أداء النظام ليصل إلى قيم منخفضة تعادل  $400 \text{ bit/sec}$ . وهذه القيمة غير مناسبة للاستخدام في التطبيقات التي تعتمد على إرسال البيانات من الأجهزة إلى المنسق.

يمثل الشكل (6) تغير تدفق المعلومات كتابع لزيادة معدل الإرسال عند قيم مختلفة لعتبة تحسس الوسط، كلما ازداد ازدحام الشبكة سيتأثر تدفق المعلومات من أجل قيمة لتحسس الوسط تساوي  $-90\text{dBm}$  (المنحني (٢)). بإجراء تحليل للمنحني (2) من الشكل (6)، والبحث عن تابع التوزيع الاحتمالي الممثل لتغير التدفق كتابع لازدحام الشبكة نجد أن تابع (Gaussian) والمحدد وفقاً للشكل (7) والعلاقة (7) :



الشكل (7) يمثل التابع الغاوسي الممثل لمعدل التدفق لتغير مجال التحسس عند الازدحام

$$Y = \text{Amplitude} \times e^{-0.5((X - \text{Mean})/\text{SD})^2} \quad (7)$$

يعبر Amplitude عن المطال، Mean: القيمة المتوسطة، SD(Standard Deviations) : الانحراف

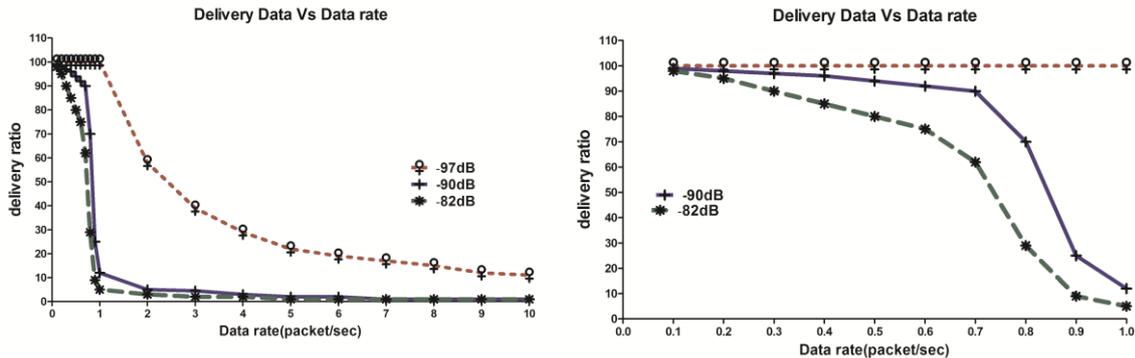
المعياري.

الجدول(3) يمثل تغير بارامترات التابع الغاوسي الممثل لتغير التدفق.

Amplitude	2606
Mean	0.6197
SD	0.2481
<b>95% Confidence Intervals</b>	
Amplitude	2151 to 3061
Mean	0.5698 to 0.6696
SD	0.1960 to 0.3002

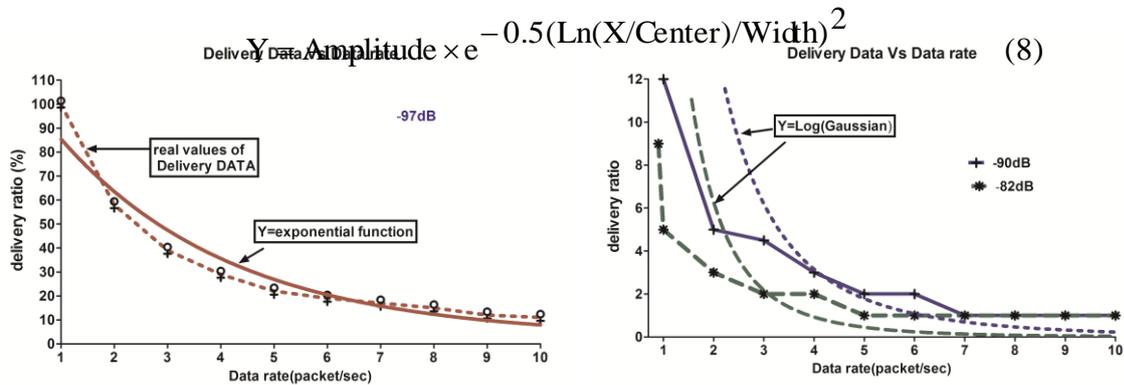
### 3 تأثير ازدحام الشبكة على المعطيات المستلمة عند تغير عتبة تحسس الوسط (حساسية المستقبل):

يمثل الشكل (8) تغير المعطيات المستلمة مع ازدياد الازدحام ضمن الشبكة، قبل أن يحدث ازدحام يكون معدل التسليم مساوياً لـ 100%. ولكن مع تزايد معدل إرسال المنابع (بداية الازدحام) سينخفض التسليم في حالة (-97dB, -82dB) بينما يكون التسليم 100% في حالة -97dB. أما عند حصول الازدحام بشكل كبير سينخفض معدل التسليم للحالات الثلاث، ولكن يقدم -97dB معدل تسليم أفضل من الحالتين السابقتين.



الشكل (8) يمثل المعطيات المستلمة كتابع لزيادة معدل الإرسال عند قيم مختلفة لعتبة تحسس الوسط

يتغير سلوك المنحني الممثل لمعدل التسليم مع تزايد الازدحام ونميز حالتين: **حالة -97dB**: يتغير سلوك المنحني ليأخذ التابع الأسّي كما هو موضح بالشكل (9) **حالة -90dB** - **حالة -82dB**: يتبع سلوك المنحني التابع (Log(Gaussian)) كما هو موضح بالشكل (9) والجدول (4).



الشكل (9) يمثل التابع (الاسي، Log(Gaussian)) الممثل لمعطيات المستلمة كتابع لتغير مجال التحسس عند الازدحام

الجدول (4) يمثل تغير بارامترات التابع (Log(Gaussian)) الممثل لتغير معدلات الاستلام

	-90dB	-82dB
Amplitude	113.3	109.2
Center	0.2187	0.1865
Width	1.086	0.9929
95% Confidence Intervals		
Amplitude	94.90 to 131.7	92.76 to 125.7
Center	0.1544 to 0.2830	0.1382 to 0.2348
Width	0.7836 to 1.388	0.7502 to 1.235

**4 تأثير ازدحام الشبكة على تأخير الرزم عند تغير عتبة تحسس الوسط (حساسية المستقبل):**

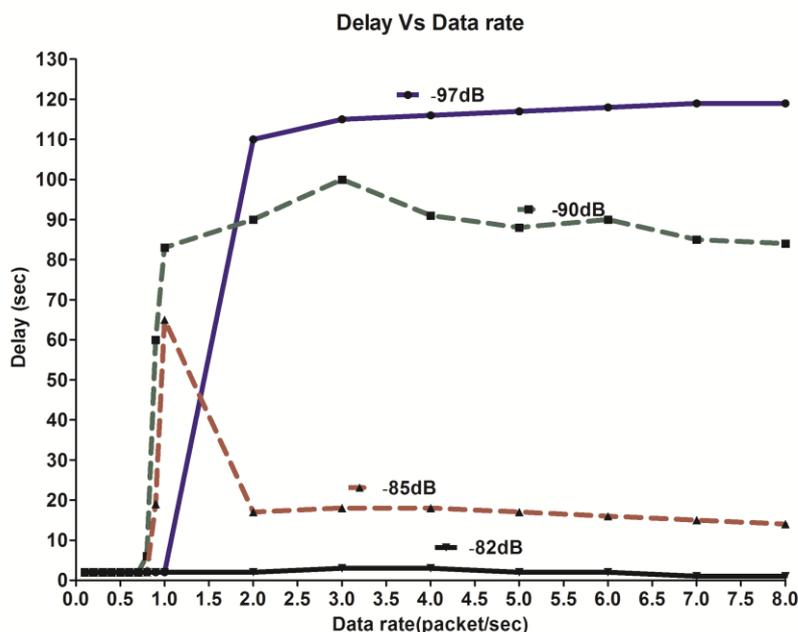
يوضح الشكل (10) قيم التأخير، والتي تحدد بقيمة تساوي 4sec من أجل معدلات إرسال أقل من 1(packet/sec)، وبزيادة ازدحام الشبكة سيتأثر التأخير بحسب كل حالة لمجال التحسس:

**حالة -97dB** : سيزداد التأخير مع ازدياد ازدحام الشبكة ليصل إلى القيمة 100sec وليبقى ضمن مجال أقل من 120sec مع زيادة معدل الإرسال.

**حالة -90dB** : سيزداد التأخير ليصل إلى القيمة 100sec عند معدل إرسال 1(packet/sec) ولتتخفص قيمته مع ازدياد ازدحام الشبكة لتصل إلى القيمة 15sec.

**حالة -85dB** : سيزداد التأخير ليصل إلى القيمة 65sec عند معدل إرسال 3(packet/sec) ولتتخفص قيمته مع ازدياد ازدحام الشبكة لتصل إلى القيمة 85sec.

**حالة -82dB** : ستغير التأخير ليصل إلى القيمة 5sec ولتتخفص قيمته مع ازدياد ازدحام الشبكة لتصل إلى القيمة 1sec.



الشكل (10) يمثل التأخير الحاصل في الشبكة كتابع لتغير مجال التحسس عند الازدحام

من خلال المقارنة والمخطط يتبين أن أداء النظام من أجل الحالة -82dB أفضل كونه يقدم قيم تأخير منخفضة. لكن الواقع معاكس، لأنه مع ازدياد الازدحام سيزداد عدد الرزم الضائعة، هذا يعني أن عدم وصول رزم إلى المنسق. أي أن انخفاض قيم التأخير دليل على الأداء السيء للشبكة وليس على أن الشبكة تعمل بتأخير منخفض.

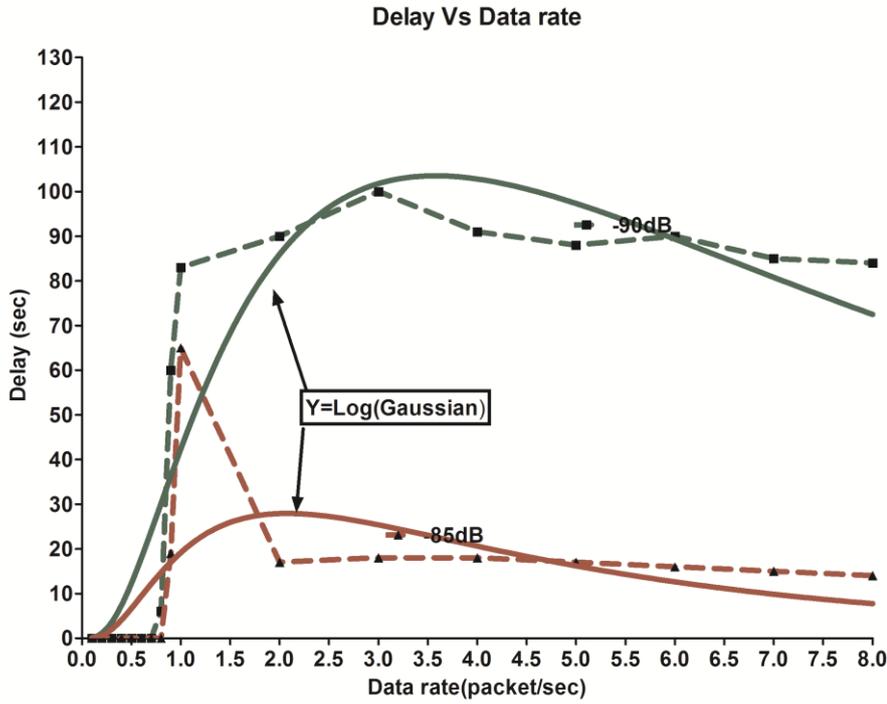
يلاحظ سلوك منحنيات التأخير وفقاً للتتابع :

**حالة -97dB:** قيم ثابتة حتى 1 packet/sec ومن ثم يزداد إلى قيمة معينة ويتابع بقيم ثابتة مع زيادة معدل الازدحام.

**حالة -90dB، -85dB:** سيتغير سلوك التأخير وفقاً لتابع log(Gaussian) الموضح في الشكل

(11) والعلاقة (9) .

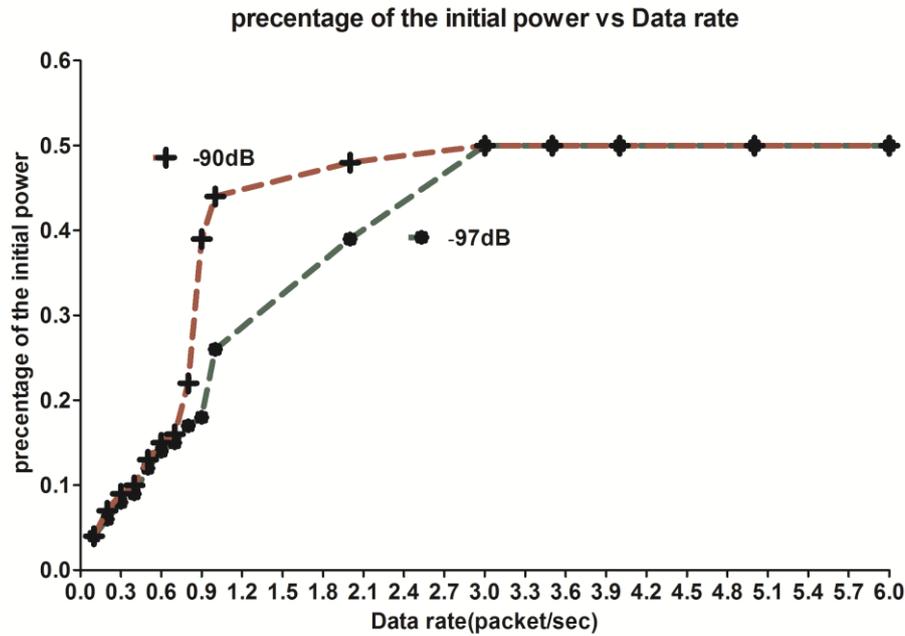
$$Y = \text{Amplitude} \times e^{-0.5(\text{Ln}(X/\text{Center})/\text{Width})^2} \quad (9)$$



الشكل (11) يمثل التابع (Log(Gaussian)) الممثل لمعطيات المستلمة كتابع لتغير مجال التحسس عند الازدحام

#### 5-4 تأثير ازدحام الشبكة على مستوى الطاقة عند تغير لعتبة تحسس الوسط (حساسية المستقبل):

- يوضح الشكل (12) تغير مستوى الطاقة كتابع لمستوى الازدحام في الشبكة، يمكننا أن نميز ثلاث حالات :
- ١- عدم وجود ازدحام: في هذه الحالة سيزداد استهلاك الطاقة بشكل خطي مع تزايد استيقاظ العقد (wakeup)، تظهر سلوك المنحنيات (كتابع لمجال التحسس) متقاربة.
  - ٢- بداية الازدحام : سيتم حدوث اسقاط لبعض الرزم وسيزداد استهلاك الطاقة، يقدم المنحني - 97dB أداء أفضل في الحفاظ وتوفير الطاقة.
  - ٣- تأثير الازدحام الكبير: في هذه الحالة، سيحدث تساقط للرزم وسيزداد استهلاك الطاقة بشكل كبير، ويتمثل سلوك المنحنيات لتصل الطاقة المستهلكة إلى القيمة (7776\*0.5=3888Joules).



الشكل (12) يمثل النسبة المئوية من الطاقة الابتدائية كتابع لتغير مجال التحسس عند الازدحام

#### الاستنتاجات والتوصيات :

أجريت دراسة للبنية العامة لبروتوكول IEEE 802.15.4، وبنية الإطار الفائق. كما جرى تحديد بارامترات الحركة المناسبة، ودراسة البارامترات الفيزيائية واختيار نمط الانتشار الراديوي الموافق للبروتوكول المدروس. جرى تحديد زمن حياة البطارية اعتماداً على المخططات الخاصة بها. يتميز هذا البحث عن غيره من الأبحاث التي تدرس أداء البروتوكولات، من خلال تقديم دراسة عن سلوكية منحنيات الأداء بالاعتماد على التوابع الاحتمالية. فقد بيّننا:

- يتبع مجال التحسس كتابع لعتبة تحسس الوسط للتابع الأسي.
- يتغير سلوك منحنى التدفق كتابع لازدحام الشبكة عند قيم مختلفة لعتبة تحسس الوسط. ففي حالة -97 dB سيزداد معدل التدفق بشكل خطي مع تزايد معدل إرسال المنابع ليستقر عند قيمة محددة. ولكن في حالة تحسس الوسط -90dB سيقدم معدلات تدفق منخفضة جداً ويأخذ سلوك منحنى الغاوسي. وغير صالحة للاستخدام في التطبيقات. لذلك لا بد من تحديد عتبة تحسس الوسط المناسبة.
- يتأثر معدل تسليم المعطيات مع زيادة الازدحام ليأخذ المنحنى سلوك التابع الأسي المتناقص في حالة -97dB. بينما في حالتها (90,82) dB يتبع سلوك التابع Log(Goussian).
- تقدم الشبكة مع زيادة الازدحام تأخيراً متزايداً لجميع الحالات، ولكن التأخير سيستمر بالزيادة الحالة (90,97) dB. بينما يقدم قيمة منخفضة لحالة -85dB، ولكن هذا الانخفاض لا يعكس أن الأداء في هذه الحالة أفضل من الحالتين السابقتين، والذي يسبب ذلك هو عدم وصول الرزم إلى المنسق أي أن تبادل المعطيات شبه معدوم.

• يزداد استهلاك الطاقة في الحالات الثلاث مع تزايد ازدحام الشبكة، ويقدم المنحني -97dB أداء أفضل، ولكن مع الازدحام الشديد ستتشابه المنحنيات مع بعضها البعض.

## المراجع:

- [1] K. Mekki, K. Mekki, and M. N. Abdelkrim, “*Application and network layers design for wireless sensor network to supervise chemical active product warehouse*,” *International Journal of Computer Science, Engineering and Applications*, vol. 4, no. 6, **2015**.
- [2] Jianliang Zheng, and Myung J. Lee, “*Will IEEE 802.15.4 Make Ubiquitous Networking a Reality?: A Discussion on a Potential Low Power Low Bit Rate Standard*” *IEEE Communications magazine*, pp. 140-146, June 2004.
- [3] M. Patel and J. Wang, “*Applications, challenges, and prospective in emerging body area networking technologies*,” *IEEE Wireless Communications Magazine*, vol. 17, no. 1, pp. 80–88, **2010**.
- [4] IEEE TG 15.4 , Part 15.4: “*Low-rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)*”, IEEE Std., New York, **2011**.
- [5] ARIB STD-T96, 950 MHz-Band Telemeter, Telecontrol and Data Transmission Radio Equipment for Specified Low Power Radio Station, **2010**.7.15 (H22.7.15) Version 1.1.
- [6] P.K. Huang , X. Lin , “*Improving the delay performance of CSMA algorithms: a virtual multi-channel approach*”, in: *Proceedings of the IEEE INFOCOM*, **2013**, pp. 2598–2606.
- [7] I. Al-Anbagi , M. Erol-Kantarci , H. Mouftah , “*A reliable IEEE 802.15.4 model for cyber physical power grid monitoring systems*”, *IEEE Trans. Emerg. Topics Comput.* 1 (2) (**2013**) 258–272
- [8] Zhuoling Xiao , \*, Jie Zhou , Junjie Yan , Chen He , Lingge Jiang , Niki Trigoni “*Performance evaluation of IEEE 802.15.4 with real time queueing analysis*” *Ad Hoc Networks* 73 (**2018**) 80–94
- [9] Gang Lu, Bhaskar Krishnamachari, Cauligi S. Raghavendra, “*Performance Evaluation of the IEEE 802.15.4 MAC for Low-Rate Low-Power Wireless Networks*” *IEEE*, pp. 701-706,

2004.

[10] [www.energizer.com](http://www.energizer.com). ENERGIZER NO. E96.last visit 25/4/2019.

[11] Christoph Sommer, Stefan Joerer and Falko Dressler, “*On the Applicability of Two-Ray Path Loss Modelsfor Vehicular Network Simulation*”. 2012 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC).