

تقييم و تحسين أثر الازدحام في شبكات التحسس

د.م. ناجي ابراهيم محمد *

م. محمود حيدر محمود **

(تاريخ الإيداع 2022/9/7 . قُبل للنشر في 2023/1/10)

□ ملخص □

في شبكات الاستشعار اللاسلكية (WSN) ، تمتلك العقد طاقة محدودة للغاية بسبب قيود الأجهزة. إن ضياع الرزم وإعادة الإرسال الناتجة عن الازدحام تسبب في استهلاك الطاقة وتقصير عمر عقد أجهزة الاستشعار. إن إجراء دراسات و أبحاث في مجال آليات التحكم في الازدحام حاجة مهمة ضمن شبكات WSN . يوجد عدد من العوامل ضمن شبكات التحسس التي تؤثر على الازدحام منها معدل الإبلاغ عن أجهزة الاستشعار ؛ عدد مرات إعادة الإرسال ، آلية RTS / CTS ؛ حجم المسجل المؤقت؛ متوسط طول المسار، بروتوكولات التوجيه المخصصة. سيتم دراسة تأثير الازدحام ، مثل التأخير ،فقدان الرزم ، موثوقية الشبكة ، استهلاك الطاقة المتبادل بين المنابع . يُظهر تحليل موجز لعملية التحكم في الازدحام أن يتم تخفيف الازدحام بشكل أساسي من خلال التحكم في المعدل من خلال إدخال فترات زمنية عشوائية مما سيحسن من كفاءة الشبكة و يخفف من الازدحام.

الكلمات المفتاحية: شبكات WSN ، الازدحام ، خوارزميات التحكم بالازدحام ، استهلاك الطاقة

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

Evaluate and improve the effect of congestion on sensor networks

Dr. Naji Ibrahim Mohamad *
Eng. Mahmoud Aidar Mahmoud**

(Received 7/9/2022 . Accepted 10/1/2023)

□ ABSTRACT

In wireless sensor networks (WSN), nodes have very limited power due to hardware limitations. Packet loss and retransmission due to congestion cause energy consumption and shorten sensor nodes life. Research into congestion control mechanisms is an important need within WSNs. There are a number of factors within sensor networks that influence congestion including the rate at which sensors are reported; retransmission number, RTS / CTS mechanism; temporary buffer size; Average path length, routing protocols. The impact of congestion, such as delay, packet loss, network reliability, power consumption and fairness between sources, will be studied. A brief analysis of the congestion control process shows that congestion is mainly mitigated through rate control by introducing random time intervals which will improve network efficiency and reduce congestion.

Keywords: WSN networks, congestion, congestion control algorithms, power consumption

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

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

1-المقدمة:

ظهرت في السنوات الأخيرة شبكات الاستشعار اللاسلكية وحظيت باهتمام كبير نظرًا للتطورات في الدارات منخفضة الطاقة وتقنيات الراديو. تمتلك شبكات الحساسات اللاسلكية مجموعة واسعة من التطبيقات في مراقبة المرض، مراقبة المحميات، وتتبع الأشياء، واستشعار ساحة المعركة، وما إلى ذلك. كما تمتلك عقد الاستشعار طاقة مقيدة ومحددة. و عادة ما تكون مجهزة ببطاريات. لكن في كثير من الحالات، يكون تجديد مورد الطاقة أمرًا مستحيلًا. تفرض هذه الطبيعة متطلبات كفاءة الطاقة على جميع طبقات البروتوكولات [2][1]. إلى جانب ذلك، فإن عقد الحساسات مقيدة أيضًا بمعالجات ضعيفة نسبيًا وذاكرة محدودة. و يمكن إنفاص التأخير الحاصل في الشبكات وتوفير الطاقة المستهلكة من خلال تنظيم معدلات الإرسال أو عن طريق توفير وتزويد موارد إضافية (مثل العقد المستيقظة)[4][3].

2-أهمية البحث أهدافه:

تم إجراء دراسة مكثفة في السنوات الأخيرة على الطبقة المادية وطبقة MAC وطبقة الشبكة. بالنسبة للتطبيقات التي تقوم فيها عقدة الحساس بالإبلاغ عن الحالة المراقبة للمنطقة إلى عقدة أو عدد من العقد، تعمل شبكات الحساس عند حمل منخفض في معظم الأوقات. ولكن عند وقوع حدث هام، مثل اقتحام العدو، فإن الشبكة ستولد وتحتاج إلى نقل كمية هائلة من البيانات بشكل مفاجئ. في مثل هذه الحالات، يكون للسيطرة على الازدحام أهمية كبيرة. وتمكن أهمية البحث في إجراء دراسة لإظهار تأثير الازدحام على بارامترات الشبكة، و يُظهر تحليل موجز لعملية التحكم في الازدحام أن يتم تخفيف الازدحام بشكل أساسي من خلال التحكم في المعدل من خلال إدخال فترات زمنية عشوائية مما سيحسن من كفاءة الشبكة.

3- طرائق البحث ومواده:

يتناول هذا البحث تحليل مشكلة الازدحام في شبكات الحساسات اللاسلكية، وتحديد الأعراض الرئيسية، وعرض المشاكل الحاصلة وتوضيح الأسباب الرئيسية للمشكلة. و تقديم حل يخفف من تأثير الازدحام. لإنجاز ذلك سيتم الاعتماد على المحاكاة لإظهار تأثير الازدحام من خلال مقاييس الأداء: إسقاط الرزم، التأخير من طرف إلى طرف، والإنتاجية، والموثوقية. وأيضاً كما ندرس كيف يؤثر الازدحام على استهلاك الطاقة والعدالة (fairness). لإنجاز السيناريوهات المختلفة سيتم استخدام المحاكى الشبكي NS2. سيتم استخدام DCF ضمن بروتوكول IEEE802.11 كبروتوكول MAC.

4- مقدمة نظرية:

يتم البدء بإرسال المعطيات بين العقد بعد إرسال إطارات التحكم RTS/CTS واستلام إشعار ACK. و بسبب كون الوسط لاسلكي يتم استخدام تحسس الوسط المتعدد النفاذ / تحديد التصادم CSMA/CA. كما تحدد بارامترات استهلاك الطاقة في حالة (Idle=RX=0.0135W) و (TX=0.0247W) و (Sleep=0) والطاقة الكلية (Total Energy=2Joules). وتحدد البارامترات بحيث تؤخذ مسافة الاستقبال والتحصن القيمة 30 متر. ترسل العقدة المتحركة إطارها باستخدام نمط الانتشار (two-ray ground reflection, error free) لحساب الاستطاعة المستقبلية للإشارة الراديوية من أجل كل عقدة احتمال محتملة. يعد استقبال الإطار بشكل صحيح إذا كانت قوة الإشارة ليست أقل من عتبة الاستقبال (RXThresh). إذا

كانت قوة الإشارة المستقبلية أقل من عتبة الاستقبال ولكن أكبر أو تساوي من عتبة تحسس الحامل (CSThresh) سيستقبل الإطار مع وجود أخطاء. حيث يمكن تقسيم فترة الازدحام إلى ثلاث مناطق حسب [6][5]. حيث يُشار إلى المنطقة الأولى بأنها المنطقة الواقعة تحت العتبة الدنيا للمعدل، حيث تكون موثوقية الشبكة ثابتة نسبياً، على أنها المنطقة غير المزدحمة، نظراً لأن حجم المسجل (buffer) للعقد يكفي لاستيعاب حمل حركة البيانات. ويوجد ما وراء عتبة المعدل المنخفض مرحلة انتقالية حادة، والتي يشار إليها باسم المنطقة الانتقالية. هذه المرحلة هي المكان الذي يتراكم فيه ازدحام الشبكة بسبب زيادة حمل حركة البيانات التي تتنافس على الموارد. بعد العتبة الثانية، عتبة المعدل المرتفعة، في هذه الحالة فإن الموثوقية تصل إلى مرحلة الإشباع والتي يشار إليها على أنها منطقة مزدحمة للغاية. تعد العقد ثابتة غير متحركة. ولإظهار تأثير حمل الحركة والازدحام سيتم استخدام اتصالات UDP/CBR [9][8][7]

4-1 معدل الإبلاغ Reporting Rate: يمكن تصنيف تطبيقات WSN إلى فئتين مرتبطتين بالأحداث ودورية . في التطبيقات التي تعتمد على الأحداث، قد يتغير معدل الإبلاغ لعقد الحساسات خلال عمر الشبكة. في حين أن التطبيقات ذات حركة البيانات الدورية تتطلب التحكم في معدل الإبلاغ من أجل التشغيل الصحيح للشبكة . في كلتا الحالتين، نتيجة لزيادة معدل الإبلاغ، يحدث الازدحام الكلي للشبكة حتى و لو تم إنقاص التنافس. ومع ذلك، نظراً لطبيعتها المتعددة القفزات وعملها الجماعي، يلزم اتباع نهج متعاون في التحكم في معدلات التدفق في WSN . ترسل المنابع معلوماتها بمعدلات إبلاغ (Reporting Rate)، حيث تتراوح معدلات الإبلاغ (10,...250) Kbps. تعد العدالة في التوزيع (fairness) ميزة هامة عند إجراء التحسس بين العقد وكذلك استهلاك الطاقة نظراً لمحدودية الموارد لعقدة الاستشعار.

4-2 ضياع الرزم Packet Loss:

يحدث ضياع للرزم وفق حالات مختلفة يمكن تحديدها من خلال الطبقة التي يحدث عندها الضياع [10][11][12]:

4-2-1 إسقاط طبقة التوجيه: يحدث إسقاط للرزم في طبقة التوجيه من خلال الحالات التالية:

1- انتهاء الزمن في مسجل الإرسال: يتم حفظ كل رزم البيانات في مسجل الإرسال قبل إرسالها. إذا لم يتم إرسال الرزمة بعد فترة زمنية معينة، فسيتم إسقاطها. في معظم الحالات، تنتهي مهلة الرزمة نظراً لعدم العثور على مسارات خلال المهلة المحددة.

2- عدم وجود مسار: إذا كانت الرزمة غير قابلة للتسليم (على سبيل المثال بسبب خطأ في الوصلة) وقد تم فحص المسار مرات عديدة، سوف يقوم مثلاً AODV باعتبار أنه لا يوجد طريق متاح ويقوم بإسقاط الرزمة.

3- وصلت قيمة TTL إلى الصفر: إذا وصلت قيمة TTL في رزمة إلى الصفر، فإن سيتم إسقاط الرزمة.
4- يمكن للعقدة سيئة التصرف (misbehaved node) أن تسقط رزمة البيانات أو الرد على المسار أو خطأ المسار.

4-2-2 إسقاط طبقة وصلة المعطيات: يحدث إسقاط للرزم في طبقة وصلة المعطيات من خلال

الحالات التالية [13] من أجل تحديد حالة الاسقاط و ربطها مع المسبب:

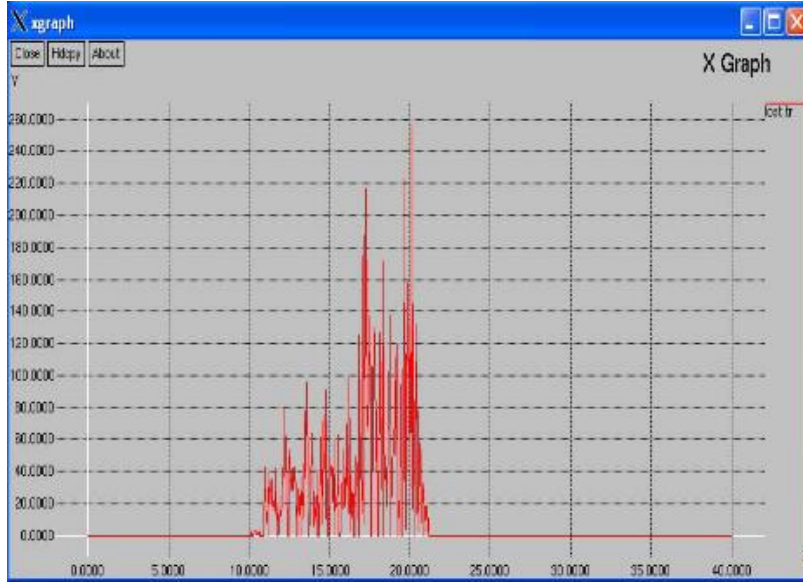
1- امتلاء IFQ: يتم تخزين الرزم مؤقتاً في رتل الملائم للشبكة قبل إرسالها. إذا تم توليد عدد كبير جداً

من الرزم قبل إرسال الرزم السابقة، فسيتم إسقاط الرزم.

- 2- امتلاء ARP قبل إرسال الرزمة، يجب البحث عن عنوان MAC الخاص بالعقدة الوجهة بواسطة ARP. إذا كان ARP ممتلئاً، فسيتم إسقاط الرزم التي تعتمد على هذه العقد.
- 3- القناة اللاسلكية مشغولة للغاية لدرجة أن أوقات التراجع (back off) تتجاوز الحد الأقصى.
- 4-2-3 انتهاء المحاكاة: يمكن للرزم التي يتم حفظها في مخزن الإرسال المؤقت لطبقة التوجيه و FQ أسيتم إسقاطها عند انتهاء المحاكاة.

5- النتائج والمناقشة:

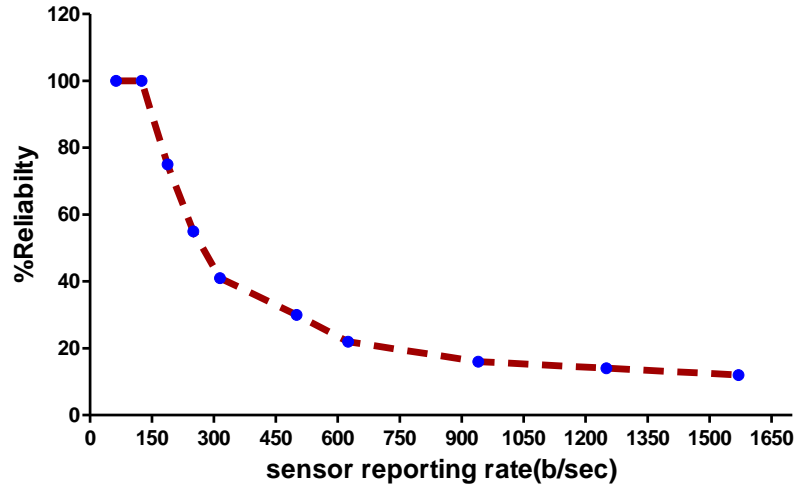
سيتم دراسة تأثير الازدحام على بارامترات الشبكة المختلفة من خلال إرسال خمسة منابع بيانات اعتماداً على UDP/CBR، حيث تولد البيانات بين الفترة 10sec و 20sec. يمثل الشكل (1) إسقاط (ضياح) للرزم كتابع لزمان تشغيل المحاكاة، يحدث الإسقاط عندما تكون الشبكة في الحالة الحرجة بين الفترة الزمنية (10-20) sec.



الشكل (1) يمثل إسقاط الرزم كتابع لزمان المحاكاة

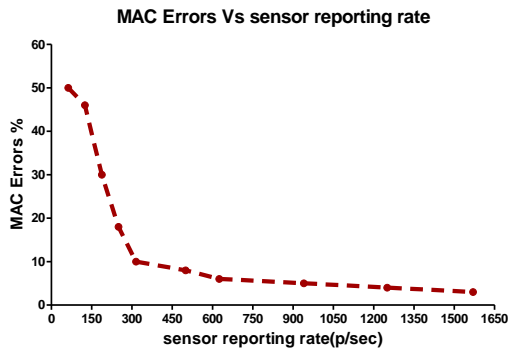
يمثل الشكل (2) الموثوقية كتابع لمعدل إخبار التحسس. نميز من الشكل (2) عتبتين: العتبة الدنيا تبدأ الشبكة بإسقاط الرزم عند معدل إخبار حوالي 150p/sec ويستمر أداء الشبكة بالانخفاض بعد تجاوز معدل الإخبار للقيمة 260p/sec. والعتبة العليا تبدأ عندما تصل موثوقية الشبكة إلى الإشباع وتحدد بالقيمة 950p/sec. فما قبل العتبة الدنيا لا تكون الشبكة مزدحمة وبين العتبتين تعد منطقة انتقال وبعد العتبة العليا تعاني الشبكة من ازدحام عالي. وتصل الموثوقية إلى حوالي 10% عند مستو عالي من الازدحام.

Reliability vs sensor reporting rate

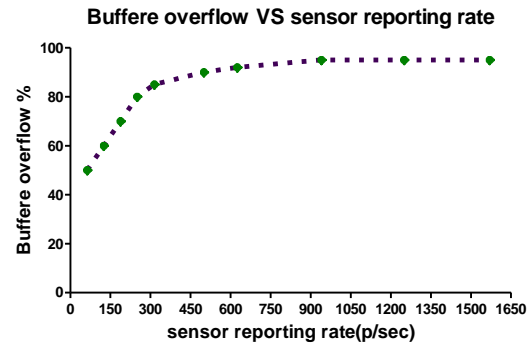


الشكل (2) يمثل الموثوقية كتابع لمعدل الإبلاغ

يمثل الشكل (3) العدد الأعظمي من أخطاء MAC التي تحدث عند العتبة الدنيا حيث يحدث التنافس قبل البدء بالازدحام وعند بدء الازدحام تصل إلى الاشباع بالقيمة 5%. ويترافق مع ذلك حالة امتلاء للمسجل الشكل (4) بحيث تصل إلى قيمة الاشباع 95%.

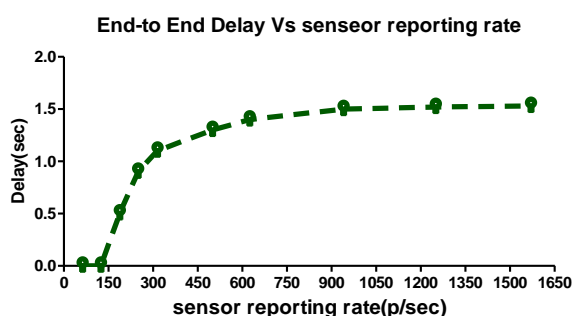
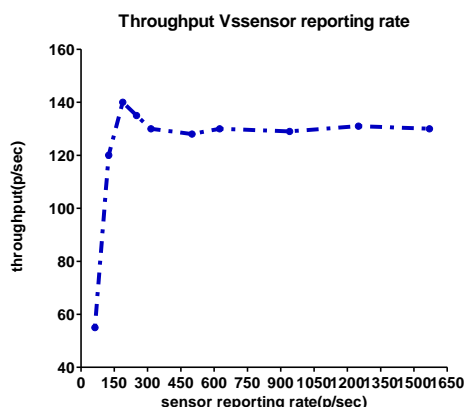


الشكل (3) يمثل العدد الأعظمي من أخطاء MAC



الشكل (4) يمثل حالة امتلاء للمسجل (Buffer)

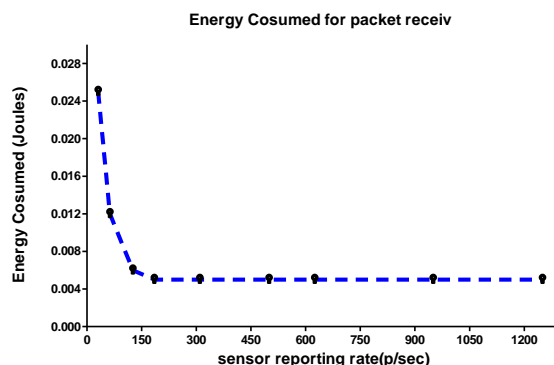
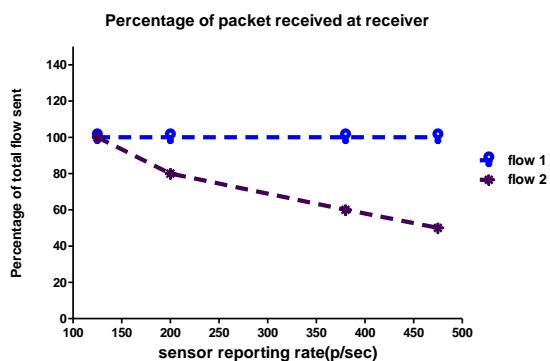
وكما تظهر آثار الازدحام من خلال انخفاض معدل تدفق البيانات (الإنتاجية) الشكل (5) و زيادة مقدار التأخير الشكل (6)



الشكل (5) يمثل الإنتاجية كتابع لمعدل الإبلاغ

الشكل (6) يمثل الإنتاجية (معدل التدفق) كتابع لمعدل الإبلاغ

يعد التعادل (fairness) في تقاسم موارد الشبكة بين المنابع المتنافسة أمر هام في الشبكات متعددة القفزات، بحيث يسيطر تدفق قريب من المستقبل على موارد الشبكة ويعاني التدفق الآخر إلى المستقبل من ظاهرة المجاعة (starvation). سيتم المقارنة مع منبعين يولدان حركة CBR عند معدلات بيانات (50,80,150,400)KBPS. حيث يتعد التدفق (1) عن المستقبل قفزة واحدة، بينما يتعد التدفق (2) خمس قفزات عن المستقبل كما في الشكل (7).



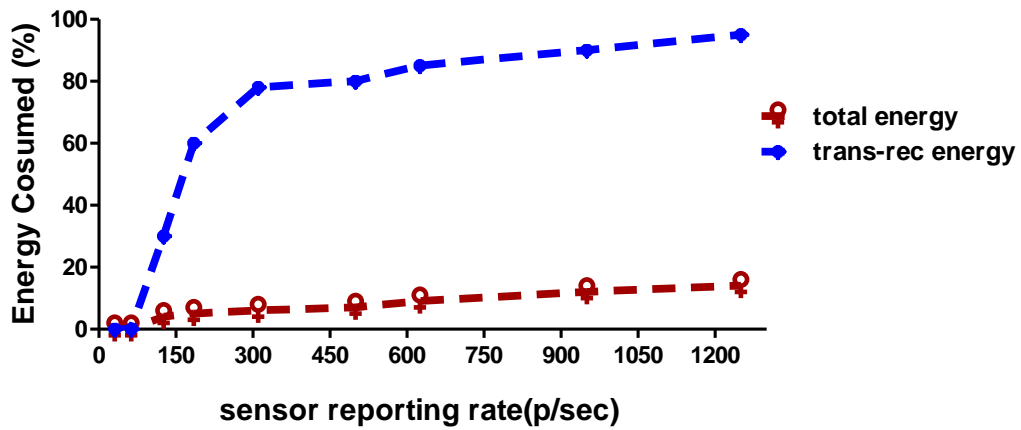
الشكل (7) يمثل حالة عدم التعادل بسبب تأثير تعدد القفزات وازدحام الشبكة

الشكل (8) يمثل معدل استهلاك الطاقة كتابع لازدحام الشبكة

كما هو موضح في الشكل (7) يحصل التدفق 1 على نسبة أكبر من عرض النطاق الترددي للشبكة مع زيادة الحمل. تعاني العقدة البعيدة التابعة للتدفق (2) من ظاهرة الجوع بعد أن يصل معدل حركة مرور الشبكة الإجمالي إلى 200p/sec و من أجل 400p/sec الثانية، تتناقص النسبة المئوية لوزم التدفق 2 التي تصل إلى المستقبل بنسبة 40% تقريباً، بينما ينقل التدفق 1 جميع رزمه إلى المستقبل. كلما بعد المرسل عن المستقبل وبسبب المسار متعدد القفزات إلى المستقبل سيقبل من سعته الوصلة (من النهاية إلى النهاية) وفي النتيجة سيحدث سقوط للوزم، في حين أن المنبع الذي يقع على بعد قفزة واحدة بعيداً عن المستقبل سيحصل على سعة أكبر ويمكنه إرسال حركة المرور بمعدل بيانات أعلى. تبين النتيجة الموضحة في الشكل (8) أن متوسط الطاقة المستهلكة لكل رزمة يتم تسليمها أعلى في حالة عدم الازدحام من المناطق المزدحمة. هذا لأنه عندما يكون معدل حركة البيانات منخفضاً، فإن حالة الاستماع، الخمول (idle, listing) تستمر في استهلاك كمية كبيرة من الطاقة بينما يتم تسليم رزم أقل إلى المستقبل. نظراً لأن معدل الإبلاغ أقل من 125.5p/sec فإن متوسط استهلاك الطاقة لكل رزمة يتم تسليمها سينخفض. عندما يبدأ الازدحام بعد 125.5p/sec تبدأ الطاقة المستهلكة لكل رزمة توصيل في الزيادة

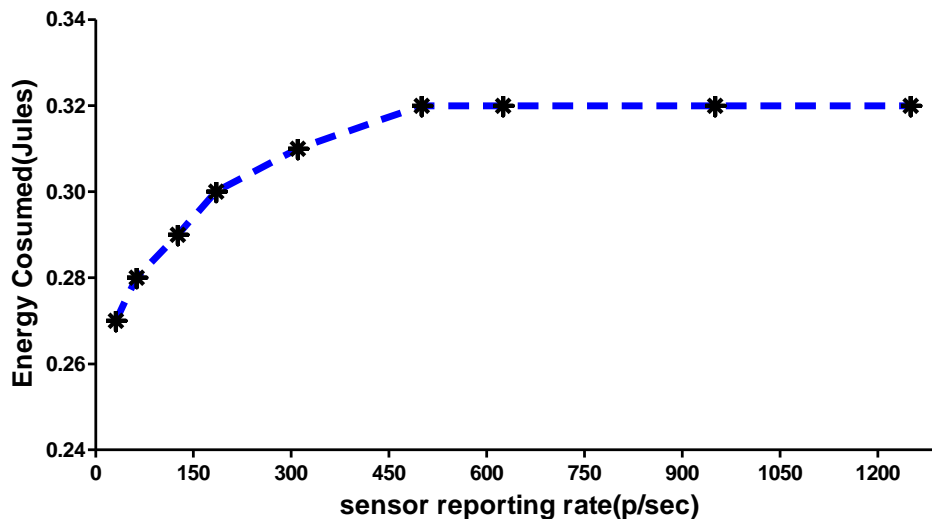
حيث و لكن بسبب استلام عدد قليل من الرزم عند المستقبل بسبب ضياع الرزم ستبدو كمية الطاقة المستهلكة منخفضة . ولكن هذه القيمة هي من أجل الرزم الواصلة بنجاح في ظل وجود ازدحام. تسبب الشبكة هدر بالطاقة للبتات التي تنتقل من المرسل إلى المستقبل .يوضح الشكل (9) أن استهلاك الطاقة بسبب ضياع الرزم يزداد مع زيادة معدل حركة البيانات ويصل إلى نسبة 92% من إجمالي طاقة الإرسال-استقبال (TX-RX) و20% من إجمالي استهلاك الطاقة الكلي .

Energy Cosumed due to packet drop VS sensor reporting rate



الشكل (9) يمثل مقارنة بين استهلاك الطاقة نتيجة ضياع الرزم مقارنة مع استهلاك طاقة tx-rx تعطي الطاقة المستهلكة في عقدة عنق الزجاجة إشارة غير مباشرة إلى الازدحام كما في الشكل (10) . عند عدم حدوث ازدحام، يكون استهلاك الطاقة منخفضاً وعندما يكون هناك ازدحام عالٍ، يصل استهلاك الطاقة إلى حد الاشباع .كما لوحظ أيضاً، تؤدي الشبكات المزدهمة العالية إلى تقليل عمر الشبكة بشكل خطير حيث تستهلك عقدة الاختناق الطاقة بسرعة أكبر .

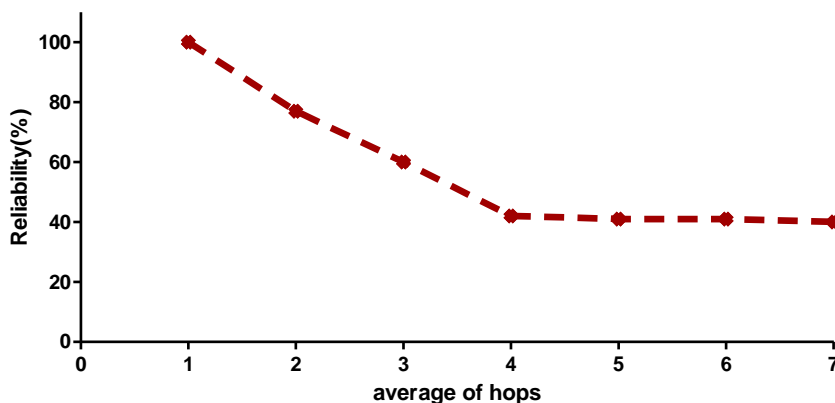
Energy Cosumed on bottleneck VS sensor reporting rate



الشكل (10) استهلاك الطاقة عند عقد عنق الزجاجة

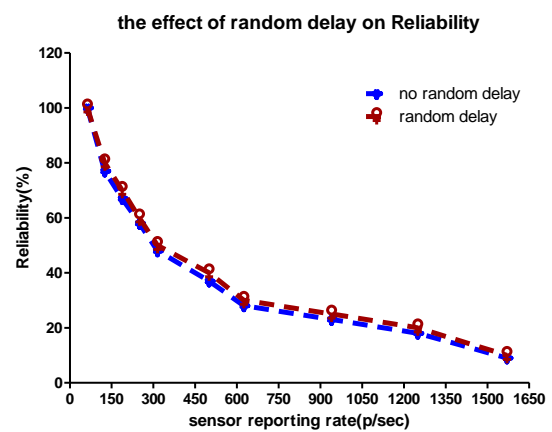
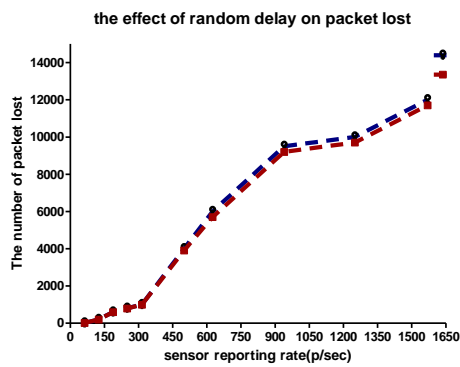
لفحص الطاقة المستهلكة لكل حالة راديو للعقدة، نقوم بإلغاء الطاقة المستهلكة للحالات الراديوية للعقدة الأخرى في نموذج الطاقة. يحدث معظم استهلاك الطاقة بسبب حالة الخمول (idle). و السبب في أن حالة الخمول تستغرق معظم وقت المحاكاة حيث يتم إنشاء حركة المرور من العقد لمدة 10sec . من ناحية أخرى، يجب أن نلاحظ أن الطاقة المستهلكة في وضع الخمول هي نفسها التي يتم استهلاكها في وضع الاستلام ($Idle=RX=0.0135W$). بمقارنة هذا السلوك في سيناريوهات ازدحام مختلفة ، يمكننا ملاحظة أنه في معظم الشبكات المزدحمة ينخفض استهلاك الطاقة لحالة الخمول بينما يتم زيادة حالة الإرسال وهو أمر طبيعي تمامًا. كما يلعب معدل طول المسار للوصول إلى المستقبل تأثير كبير على مشكلة الازدحام، و باستخدام الموثوقية كمقياس للازدحام (من أجل اعتبار أن الرزم الضائعة تحدث بسبب الازدحام). بين الشكل (11) أنه بازياد معدل طول المسار يزداد الازدحام سوءاً. فعندما يزداد معدل طول المسار من 1 قفزة إلى 3 قفزة ستتنخفض الموثوقية. و يعلل ذلك بأن سعة المسار من المرسل إلى المستقبل ينخفض مع ازدياد عدد القفزات بينهم . و بالتالي وجود عدد من المستقبلات ضمن الشبكة يمكن من التحكم بتأثير معدل طول المسار على الازدحام.

Average path length effect on congestion



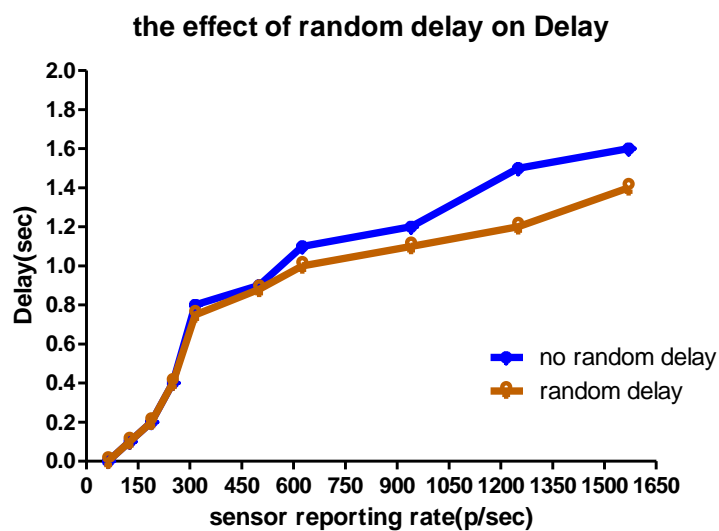
الشكل (11) يمثل تأثير طول المسار كتابع لازدحام الشبكات

يمكن من خلال إدخال تأخير إرسال عشوائي من أجل إنقاص تأثير إرسال المنابع معاً. وبالتالي فإن التحكم بزمن الإرسال بدلاً من التحكم بمعدل البيانات المرسل. لأنه كلما كان عدد المنابع التي ترسل معاً كلما سبب ذلك بازدحام الشبكة. سيتم ضافة تأخير عشوائي يتراوح بين (0-1)sec و نقيس الموثوقية و التأخير و عدد الرزم الضائعة. يتضح من الشكل (12) إن إدخال الزمن العشوائي يخفض من تأثير الازدحام (بشكل صغير) فيما يتعلق بإسقاط الرزم. ويحصل التحسين بسبب إنقاص منافسة MAC وينخفض حجم المسجل وبالتالي يتفض معدل التأخير.



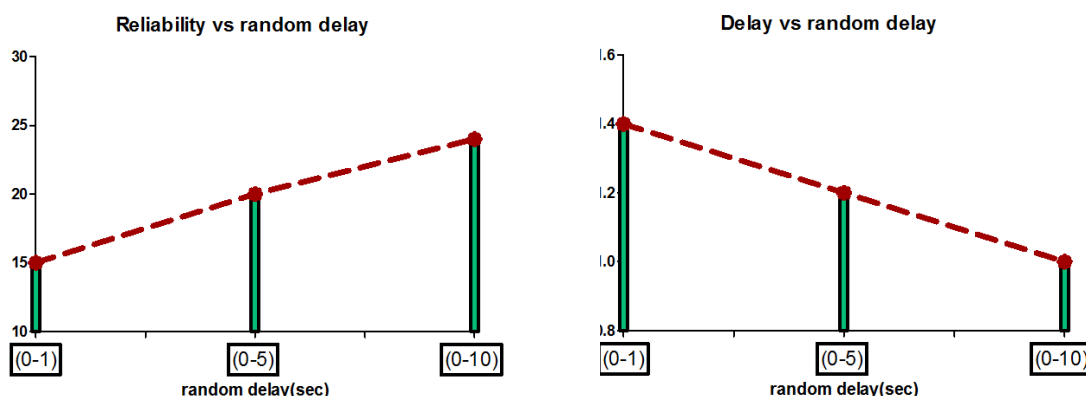
(2) عدد الرزم الضائعة

(1) الموثوقية



(3) التأخير

الشكل (13) يمثل تأثير التأخير العشوائي على (عدد الرزم الضائعة (1)، الموثوقية (2)، التأخير (3)) ، و لكن يظهر زيادة في قيمة التأخير عندما تكون قيم معدل الإخبار الكلي بين $(315-1560)p/sec$ ، في هذه المنطقة يكون الازدحام عالي. بإجراء تعديل على مجال الفترة الزمنية العشوائية للتغير بين المجالات $[(0,1)-(0,5)-(0,10)sec]$. و بقياس الموثوقية و التأخير. كما في الشكل (13) . تزداد الموثوقية كلما ازدادت فترات التأخير العشوائي لتصل حتى 10% . و من جهة أخرى ينقص زمن التأخير بمقدار 0.2sec بسبب انخفاض تأثير الازدحام.



الشكل (13) يمثل الموثوقية و التأخير كتابع لفترات العشوائية للإرسال

الاستنتاجات و التوصيات:

قدمت هذه المقالة تأثير الازدحام على بارامترات الحساسات اللاسلكية من خلال النقاط التالية:

- 1- تصل الموثوقية إلى حوالي 10% عند مستو عالي من الازدحام (بسبب زيادة معدل إبلاغ العقد و بالتالي حركة كبيرة في الشبكة)
- 2- تظهر أخطاء MAC التي تحدث عند العتبة الدنيا حيث يحدث التنافس قبل البدء بالازدحام وعند بدء الازدحام تصل إلى الاشباع بالقيمة 5%. و يترافق مع ذلك حالة امتلاء للمسجل بحيث تصل إلى قيمة الاشباع 95%.
- 3- تظهر آثار الازدحام من خلال انخفاض معدل تدفق البيانات (الإنتاجية) وزيادة مقدار التأخير
- 4- تعطي الطاقة المستهلكة في عقدة عنق الزجاجة إشارة غير مباشرة إلى الازدحام
- 5- يلعب معدل طول المسار للوصول إلى المستقبل تأثير كبير على مشكلة الازدحام، بازدياد معدل طول المسار يزداد الازدحام سوءاً. وبالتالي وجود عدد من المستقبلات ضمن الشبكة يمكن من التحكم بتأثير معدل طول المسار على الازدحام.
- 6- أن استهلاك الطاقة بسبب ضياع الرزم يزداد مع زيادة معدل حركة البيانات و يصل إلى نسبة 92% من إجمالي طاقة الإرسال-استقبال (TX-RX) و 20% من إجمالي استهلاك الطاقة الكلي .
- 7- يمكن من خلال إدخال تأخير إرسال عشوائي من أجل إنقاص تأثير إرسال المتابع معاً، ويحصل التحسين بسبب إنقاص منافسة MAC و ينخفض حجم المسجل و بالتالي يتفرض معدل التأخير. تزداد الموثوقية كلما ازدادت فترات التأخير العشوائي لتصل حتى 10% . ومن جهة أخرى ينقص زمن التأخير بمقدار 0.2sec بسبب انخفاض تأثير الازدحام.

المراجع:

- [1] A. A. Adel and A. Waleed, A lightweight reliability mechanism proposed for datagram congestion control protocol over wireless multimedia sensor networks, *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, Vol. 29, No. 3, pp. 1–17, **2018**.
- [2] M. Alaei, P. Sabbagh and F. Yazdanpanah, A QoS-aware congestion control mechanism for wireless multimedia sensor networks, *Wireless Networks*, Vol. 24, No. 1, pp. 1–20, **2018**.
- [3] W. Chen, Y. Niu and Y. Zou, Congestion control and energy balanced scheme based on the hierarchy for wsns, *IET Wireless Sensor Systems*, Vol. 7, No. 1, pp. 1–8, **2016**.
- [4] Bhushan B, Sahoo G (**2019b**) Routing protocols in wireless sensor networks. *Computational intelligence in sensor networks*. Springer, Berlin, pp 215–248
- [5] Krishnan RS, Julie EG, Robinson YH, Son HL, Kumar R, Abdel-Basset M, Thong PH (**2019**) A new algorithm for high power node multicasting in wireless sensor networks. *IEEE Access* 7:38584–38592
- [6] Jain, T. K., Saini, D. S., & Bhooshan, S. V. (**2015**). Lifetime optimization of a multiple sink wireless sensor network through energy balancing. *Journal of Sensors* 2015.
- [7] Bagdadee, A., Hoque, M., & Zhang, L. (**2020**). IoT based wireless sensor network for power quality control in smart grid. *Procedia Computer Science*, 167, 1148–1160.
- [8] Alghamdi, F. (**2020**). Metrics that impact on congestion control at internet of things environment. In: *Proceedings of the 2020 3rd International Conference on Computer Applications and Information Security (ICCAIS)*, pp. 1–5. IEEE
- [9] Qu, S., Zhao, L., & Xiong, Z. (**2020**). Cross-layer congestion control of wireless sensor networks based on fuzzy sliding mode control. *Neural Computing and Applications*, 32(17), 13505–13520.
- [10] Hussain, A., Manikanthan, S., Padmapriya, T., & Nagalingam, M. (**2019**). Genetic algorithm based adaptive offloading for improving IoT device communication efficiency. *Wireless Networks*, 26(4), 2329–2338.
- [11] Singh, M.K., Amin, S.I., Imam, S.A., Sachan, V.K., & Choudhary, A. (**2018**). A survey of wireless sensor network and its types. In: *Proceedings of the 2018 International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICACCCN)*, pp. 326–330. IEEE
- [12] Chanak, P., & Banerjee, I. (**2020**). Congestion free routing mechanism for IoT-enabled wireless sensor networks for smart healthcare applications. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 66(3), 223–232.
- [13] Verma, L. P., & Kumar, M. "An IoT based congestion control algorithm." *Internet of Things* 9 (**2020**): 100157.