

## تحسين أداء أنظمة جمع المعطيات باستخدام شبكات الحساسات اللاسلكية ذات البوابة المتنقلة

د.جمال خليفة\*

م. ورد فاضل \*\*

(تاريخ الإيداع 26 / 4 / 2018. قُبل للنشر 24 / 5 / 2018)

### الملخص

تستخدم اليوم أنظمة القراءة الآلية للعدادات (AMR) Automatic Meter Reading في العديد من الدول المتقدمة وذلك بالاعتماد على تقنيات اتصال عدّة. و أظهرت معظم الدراسات أن استخدام شبكات الحساسات اللاسلكية (WSN) Wireless Sensor Networks لجمع معلومات العدادات تعد من التقنيات الواعدة في هذا المجال. في هذا البحث تم اقتراح نموذج تصميمي لشبكة WSN لجمع معلومات العدادات الكهربائية في مدينة جبلة في الجمهورية العربية السورية باستخدام البوابة المتحركة. وتم العمل على تحسين أداء بروتوكول IEEE 802.15.4 باستخدام الحيزات الزمنية المضمونة (GTS) Guaranteed Time Slots بحيث يتناسب مع هذا التطبيق. كما تم العمل على اشتقاق المعادلات الرياضية التي تصف عمل هذا البروتوكول والتي مكنتنا من التصور المبدئي للنتائج. تم الحصول على النتائج باستخدام برنامج NS 2.35 بالاستعانة ببرنامج SUMO 0.32.0، وقد أظهرت هذه النتائج أنه بالاختيار الدقيق لبارمترات عمل البروتوكول ووفقاً لنموذج الشبكة الذي قمنا بتصميمه، فإنه بالإمكان الحصول على الجمع الموثوق لقراءات عدادات المنطقة المدروسة من أجل سرعة للبوابة تصل لحدود 70 كيلومتراً في الساعة، وهذا ما يعد تحسيناً لأداء عمل البروتوكول مقارنة مع الدراسات المرجعية.

**الكلمات المفتاحية:** القراءة الآلية للعدادات، شبكات الحساسات اللاسلكية، البوابة المتنقلة، الحيزات الزمنية المضمونة، IEEE 802.15.4، NS 2.35، SUMO 0.32.0.

\*أستاذ، قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سوريا،  
[jam2kh58@hotmail.com](mailto:jam2kh58@hotmail.com)

\*\* طالب دراسات عليا (ماجستير)، قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سوريا،  
[wardfadel9@gmail.com](mailto:wardfadel9@gmail.com)

## Networks with Mobile Gateway Improving the performance of data collection systems using Wireless Sensor

Prof. Jamal Khalifeh

\*\*Eng. Ward Fadel

(Received 26 / 4 / 2018 . Accepted 24 / 5 / 2018 )

### Abstract

Nowadays, Automatic Meter Reading (AMR) systems are applied in many technologically advanced countries. Many researchers proved that Wireless Sensor Networks (WSN) is one of the most overwhelming technologies for meters information collection systems. In this research, we proposed a network design for the WSN to collect the electric meters information in Jableh city-Syria using mobile gateway.

We improved the performance of IEEE 802.15.4 protocol using Guaranteed Time slots (GTS) according to our application need.

WE also deduced the mathematical equations that describe the protocol and thus we could get pre-simulation results. We used NS 2.35 and SUMO 0.32.0, and we found that by choosing the appropriate values for the protocol parameters according to our network design and method of collection, we could achieve the reliable collection of electric meters for a gateway speed of up to 70 Km/h which is considered an improvement of the protocol performance compared to other literature studies.

**Keywords:** AMR, WSN, mobile gateway, GTS, IEEE 802.15.4, NS 2.35, SUMO 0.32.0.

---

\* Professor, Department of Telecommunications and Electronics, Faculty of Mechanical and Electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria, [jam2kh58@hotmail.com](mailto:jam2kh58@hotmail.com).

\*\* Postgraduate student(M.A), Department of Telecommunications and Electronics, Faculty of Mechanical and Electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria, [wardfadel9@gmail.com](mailto:wardfadel9@gmail.com)

## 1- مقدمة

تتم عملية جمع فواتير الكهرباء في البلدان النامية بشكل يدوي، وهذا ما يسبب الكثير من الأخطاء وهدر الطاقة البشرية. لذا دعت الحاجة إلى أنظمة الشبكات الذكية Smart Grid التي تدعم قراءة معلومات العدادات أوتوماتيكياً (Automatic Meter Reading (AMR)، و قد تم اقتراح العديد من تقنيات الـ AMR التي تعتمد على طرق اتصال مختلفة ومنها: كابلات خطوط النقل (PLC (Power Line Cable)، الشبكات الخلوية، خطوط الهاتف، شبكات الحساسات اللاسلكية (Wireless Sensor Networks (WSNs) وغيرها من التقنيات [1].

شبكات الحساسات اللاسلكية- بشكل عام- هي شبكة تتضمن مجموعة أجهزة صغيرة الحجم منخفضة التكلفة ومنخفضة معدل الإرسال تغذى كهربائياً عن طريق البطارية وتتوزع إما بشكل محدد و إما بشكل عشوائي وتقوم هذه الأجهزة بإرسال المعلومات لاسلكياً فيما بينها وصولاً إلى محطة قاعدية. تعد WSNS من الحلول الواعدة في أنظمة AMR و تتميز عن غيرها من التقنيات بانخفاض تكلفة تركيب وصيانة الشبكة وكفاءتها العالية. يتم وصل كل عداد كهرباء (أو مجموعة عدادات) بحساس لاسلكي، ثم إرسال قراءات العدادات إلى عقدة/عقد وسيطة ريثما يتم تحويلها إلى المركز الرئيس حيث تجري معالجتها. على الرغم من الكثافة السكانية العالية في المدن، إلا أنه نظراً لمدى إرسال الحساسات اللاسلكية القصير نسبياً فقد تصادفنا نقاط تتعدم فيها التغطية مما يضعف الاتصالية في الشبكة. ولذا لابد من عقد إضافية لتحقيق اتصالية أعلى و لكن هذا يسبب زيادة في التكلفة.

يوجد العديد من الحلول للتغلب على هذه المشكلة ومنها استخدام البوابة المتحركة لجمع معلومات الحساسات اللاسلكية التي تمثل قراءات العدادات، ولهذه الطريقة مجموعة من الحسنات منها [2]: توفير عدد العقد اللاسلكية المضافة، تحسين اتصالية الشبكة، و تحسين الموثوقية وذلك لأن الاتصال بين عقد الحساسات والعقدة المتحركة يتم بفقرة واحدة كما تقل المنافسة بالتالي نقل احتمالات التصادم و خسارة الرسائل. و بما أن الاتصالات تتم بفقرة واحدة تصبح الحاجة لبروتوكول التوجيه أقل أهمية وبالتالي يتم توفير في حجم ترويسة طبقة الشبكة بالتالي ينخفض الحجم الكلي للرسالة. من جهة أخرى، فإن استخدام البوابة المتحركة لجمع قراءات العدادات الكهربائية يفرض على تصميم بروتوكولات طبقة التحكم بالدخول للوسط MAC أن يراعي الحركة والموثوقية [4]، [3]، من دون الاهتمام بالضرورة بتوفير الطاقة كون الحساسات موصولة مباشرة إلى التغذية الكهربائية.

قام الباحثون في الدراسة [5] بتصميم شبكة حساسات لاسلكية منزلية مع عداد كهرباء ذكي يعمل بتقنية Zigbee، حيث يقوم العداد بإرسال القراءات إلى جهاز كمبيوتر ومن ثم تحليل البيانات لتحديد معدل استهلاك المستخدم. لكن لم يتم اختبار هذا التصميم من أجل حساسات لاسلكية خارج المنزل ومن جهة أخرى يتطلب النظام وجود جهاز حاسب في طرف المستخدم وهذا ما يرفع من تكلفة التجهيزات. بينما قام الباحثون في الدراسة [6] بتصميم نظام قراءة آلية لعدادات الكهرباء باستخدام شبكات الحساسات اللاسلكية وبالاعتماد على

إنترنت الأشياء (Internet-of-Things (IoT)، لكن البحث تم تطبيقه على ثلاثة عدادات فقط وهذا ما يضع تحدياً أمام اختباره من أجل شبكة أوسع. اقترح الباحثون في الدراسة [7] نظاماً لجمع عدادات الكهرباء والماء والغاز من خلال شبكة حساسات لاسلكية بطوبولوجيا عنقودية، حيث تم دمج حساس الكهرباء وحساس الماء وحساس الغاز بعقدة تحسسية مدمجة تدعى (Electrical ,Water and Gas Sensor Node (EWGSN) وتمثل المستوى الأول من عملية تحصيل المعطيات data aggregation. المشكلة الأساسية للنظام هي تكلفة العقد المدمجة المرتفع نسبياً، ومن جهة أخرى فإن التركيز الأساسي لبروتوكول طبقة MAC هو توفير الطاقة كون حساسات الماء والغاز تغذى عن طريق البطارية. بينما في الدراسة [8]، تم اقتراح نظام لجمع معلومات العدادات معقد نسبياً باستخدام حساسات لاسلكية معتمدة على تقنية WiFi وبالتالي ارتفعت كلفة الحساس بالمقارنة مع تقنيات أرخص.

في الدراسة المرجعية [9]، تم اقتراح تخطيط لشبكة الحساسات اللاسلكية لجمع معلومات العدادات الكهربائية في المناطق الريفية ذات الطوبولوجيا المتناثرة باستخدام المصرف المتحرك mobile sink ولم يتم توسيع الدراسة لتشمل الطوبولوجيا الكثيفة، وتم اعتماد بروتوكول IEEE 802.15.4 كبروتوكول طبقة وصلة المعطيات بنمط العمل من دون تفعيل المنارة non-beacon enabled mode وهذا ما يسبب رفع معدل التصادمات وخسارة الرسائل بالتالي يحد من سرعة عقدة الجمع المتحركة، كما لم يتم اقتراح تحسينات جوهرية على هذا البروتوكول ليراعي الحركة، من جهة أخرى فإن حجم الرزمة المرسل من كل حساس والتي تمثل معلومات عداد واحد هو 60 Bytes وهو حجم كبير نسبياً لم يتم اقتراح آليات لإنقاذه.

في الدراسة [10] تم اقتراح بروتوكول (Emergency Enabled MAC (EE-MAC لضمان الاتصال الموثوق في الزمن الحقيقي في شبكات الحساسات اللاسلكية الصناعية. حيث يتم الاتصال بشكل عام باستخدام مبدأ الـ super frame وتقنية TDMA للوصول للوسط. في حالة اتصالات الطوارئ، يتم الإيقاف المؤقت للاتصال باستخدام TDMA التقليدي، ويقوم منسق الشبكة بحشر عدة حيزات زمنية time slots إضافية ذات أولوية أعلى ضمن إطار TDMA. إن عملية إعطاء أولوية أعلى لبعض العقد ينقص من زمن تأخير وصولها للقناة ولكن بالمقابل يرفع من تأخير وصول العقد الأقل أولوية. كما أن حجم ترويسة هذا البروتوكول مرتفع نسبياً. تم اختبار أداء البروتوكول من خلال المحاكاة الحاسوبية وليس من خلال بيئة حقيقية، كما لم يتم اختباره في الأنظمة المتحركة.

تعد شبكات الحساسات اللاسلكية ذات العناصر المتحركة حلاً للعديد من مشاكل الشبكات التقليدية، و في بعض الأحيان فإن استخدامها يكون ضرورياً. لأجل ذلك تم اقتراح العديد من بروتوكولات طبقة MAC المراعية للحركة. ففي الدراسة المرجعية [11] تم اقتراح بروتوكول MAC مراعيًا للتأخير من أجل شبكات الحساسات اللاسلكية المتناثرة ذات العناصر المتحركة، حيث يقوم الـ sink المتحرك بإيقاظ العقد في الشبكة، وعندما تأخذ عقدة فرصتها بالإرسال فإنها تقوم بإعطاء أولويات لمعطيات طبقة MAC اعتماداً على طبيعة المعطيات وعلى سعة الذاكرة المؤقتة. إن البروتوكول السابق هو تطوير لبروتوكول 802.11 بحيث يناسب البيئات المتحركة وهذا ما يرفع من التكلفة النسبية للحساسات، كما إنه يهدف إلى توفير الطاقة وذلك على حساب التأخير الزمني. بينما في الدراسة [12] فقد تم اقتراح بروتوكول MobiDisc كبروتوكول طبقة MAC لتحسين آلية اكتشاف العقد الأكثر مناسبة لإرسال المعطيات في شبكات الحساسات اللاسلكية ذات العناصر المتحركة. في

نمط العمل الافتراضي تتم عملية الاكتشاف مع استهلاك منخفض للطاقة وتأخير مرتفع نسبياً. أما في نمط العمل (FAN) First Ack Next-hop فتتم عملية الاكتشاف بتأخير منخفض على حساب استهلاك الطاقة، إذ من الممكن أن تكتشف العقدة المتحركة في أثناء حركتها عقدة أقرب إلى المصرف من العقدة التي كانت قد بدأت بإرسال الرزم إليها فتقوم بالتبديل إلى تلك العقدة وإتمام عملية إرسال رزمها. تم تحليل أداء عمل البروتوكول في حالة إرسال العقدة المتحركة الرزم إلى المصرف من خلال العقد الثابتة ولم تتم مناقشة حالة كون المصرف متحركاً كما إن عملية اختيار العقدة المستقبلية سيتطلب ازدياداً ملحوظاً في حجم الترويسة. في الدراسة المرجعية [13]، تم اقتراح بروتوكول MS-SMAC الداعم للحركة - Mobility Supporting Sensor MAC (MS-SMAC) و الذي ينقص من احتمال انقطاع الاتصال بسبب التغير في سرعة العقدة المتحركة في شبكات الحساسات اللاسلكية. حيث تقوم العقدة المتحركة بإرسال رزم تعلم من خلالها العقد الثابتة عن مقدار سرعتها و اتجاهها، فترد تلك العقد برسالة تأكيد تشمل أزمنة نومها sleep times. إن سليات MS-SMAC يمكن إيجازها بالنقطتين الآتيتين:

أولاً: آلية توقع الحركة تسبب زيادة في حجم الترويسة. ثانياً: تتم عملية توقع الحركة بالاستناد إلى قيمة محدد شدة الإشارة المستقبلية RSSI وهذا ما ينقص من موثوقية العملية. قام الباحثون في الدراسة [14] باقتراح بروتوكول MobiXplore لإنقاص كل من تأخير إعادة الاتصال وتأخير الhandover في شبكات الحساسات اللاسلكية وذلك من خلال إعطاء أولوية للرزم المرسل من قبل العقد المتحركة أعلى من أولوية رزم العقد الثابتة، ولكن هذه الآلية ستعقد عملية الدخول إلى الوسط وتسبب تأخيراً في إرسال العقد الثابتة.

## 2- أهمية البحث و أهدافه:

يكتسب البحث أهميته من ازدياد التوجهات في الآونة الأخيرة لتطبيق أنظمة الجمع الآلي لمعلومات العدادات في العديد من الدول المتقدمة، إذ يتم تحسين جودة الخدمة التي يتلقاها المستهلك من خلال إمكانية تضمين معلومات عن الاستهلاك في ساعات الذروة وعن الأخطاء المحتملة في الشبكة، بالإضافة إلى توفير اليد العاملة وتقليل معدل الأخطاء البشرية في أثناء عملية قراءة العدادات. يتم في هذا البحث تقديم دراسة تحليلية لعمل بروتوكول IEEE 802.15.4 باستخدام GTS في شبكات الحساسات اللاسلكية ذات العناصر المتحركة، بالإضافة إلى تحسين أداء أنظمة AMR لجمع معلومات العدادات الكهربائية باستخدام البوابة المتنقلة في شبكات الحساسات اللاسلكية. يهدف البحث إلى اقتراح نموذج تصميمي لشبكة حساسات لاسلكية بأبعاد حقيقية مخصصة للجمع الآلي لقراءات العدادات الكهربائية وذلك باستخدام المصرف المتحرك، كما يهدف إلى تحسين بروتوكول طبقة MAC IEEE 802.15.4 بحيث يراعي الحركة و الموثوقية والتأخير الزمني وذلك على حساب استهلاك الطاقة.

## 3- طرائق البحث و موادّه:

استخدمنا في البحث برنامج NS 2.35 لتخطيط شبكة الحساسات اللاسلكية [15]، [16]، و قمنا باقتراح نموذج تصميمي لتحسين أداء عمل الشبكة. تم جمع معلومات العدادات الكهربائية (التي تم وصل كل مجموعة منها إلى حساس لاسلكي وحيد) باستخدام عقدة متحركة تمثل منسق الشبكة. و تم العمل على تحسين أداء بروتوكول IEEE 802.15.4 من خلال توسيع الوحدة IEEE module

802.15.4 بحيث أصبحت تدعم الاتصال باستخدام GTS [17]، ومن خلال ضبط قيم بعض البارامترات بما يتناسب مع التطبيق المستخدم وتخطيط الشبكة.

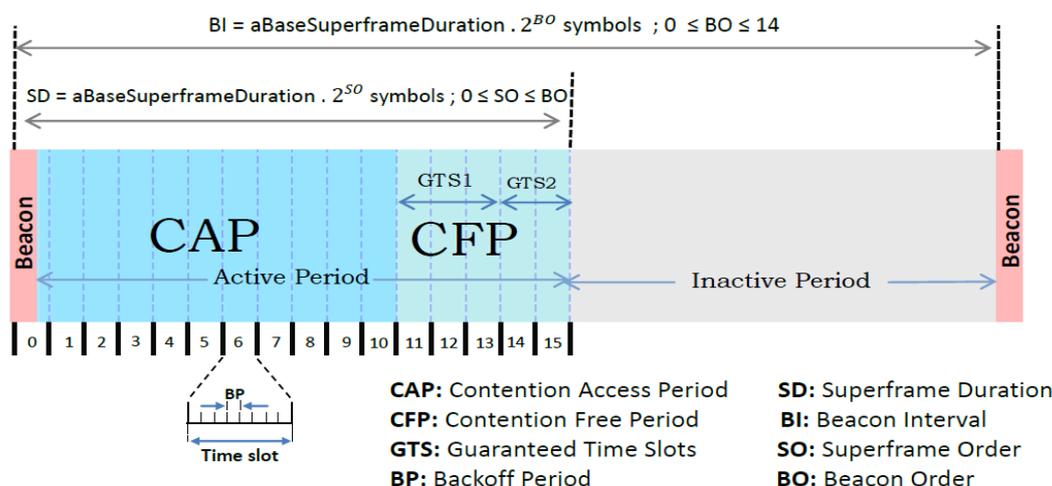
تم استخدام برنامجي SUMO 0.32.0 و NETEDIT 0.32.0 للحصول على ملف أبعاد حي الضاحية في مدينة جبلة السورية و على مواقع الحساسات الأمتلية اللازمة لعملية الجمع بامتداد .tcl. وذلك بعد الحصول على خريطة الحي من الموقع الإلكتروني [www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org) بامتداد .osm. و تم الحصول على ملف حركة المنسق ضمن شوارع الحي بامتداد .tcl..

### 3-1 استخدام المعيار IEEE 802.15.4:

يحدد المعيار IEEE 802.15.4 خصائص طبقة MAC والطبقة الفيزيائية لشبكات المناطق الخاصة اللاسلكية منخفضة معدل الإرسال LR-WPAN، و يعمل على أجهزة منخفضة السعر ومنخفضة استهلاك الطاقة ذات مدى ومعدل إرسال منخفضين [18]. يدعم البروتوكول نمطي عمل يتم اختيار أحدهما من قبل منسق الشبكة وهما نمط عدم تفعيل المنارة Non Beacon-enabled mode ونمط المنارة المفعلة Beacon-enabled mode.

في نمط المنارة المفعلة يتم إرسال البيانات بين الأجهزة بمبدأ الإطار الكلي Superframe الذي تحدد صيغته من قبل منسق الشبكة ويتم إرسال هذه الصيغة إلى الأجهزة عبر كل إطار منارة Beacon frame يرسل بشكل دوري من قبل المنسق بحيث يحتل بداية الإطار الكلي. يتكون الإطار الكلي من فترتين، الفترة الفعالة Active Period التي تتكون من 16 فتحة زمنية time slot متساوية يمكن أن يتم من خلالها تبادل البيانات، تليها فترة عدم فعالية Inactive Period يمكن أن تدخل من خلالها الحساسات بنمط توفير الطاقة، وهذا ما يبينه الشكل (1).

عندما يكون SO=BO فإن BI=SD ويكون الإطار الكلي فعالاً دوماً، وهذا ما سننعمده خلال دراستنا. يتألف الجزء الفعال من الإطار الكلي من المنارة التي ترسل في بداية ( time slot 0 )، ومنطقة الوصول بمنافسة Contention Access Period (CAP) والتي يتم تبادل البيانات فيها باستخدام تقنية slotted CSMA/CA، ومن المنطقة الخالية من المنافسة Contention Free Period (CFP) والتي تتكون من مجموعة متتالية من الحيزات الزمنية المضمونة Guaranteed Time Slots (GTSS) التي يتم تبادل المعلومات خلالها من دون منافسة بين الجهاز ومنسق الشبكة حصراً.



الشكل 1: بنية الإطار الكلي لبروتوكول IEEE 802.15.4

### 2-3 مزايا الاتصال باستخدام GTS:

تم توسيع الوحدة IEEE 802.15.4 module في برنامج NS 2.35 بحيث تشمل الاتصال باستخدام GTS.

إن الاتصال باستخدام GTS مناسب جداً لإرسال معلومات العدادات الكهربائية إلى العقدة المتحركة لعدة أسباب:

- 1- إن بروتوكول IEEE 802.15.4 قد تم اختبار أدائه في بيئات العمل الحقيقية بخلاف العديد من البروتوكولات المقترحة التي تم اختبار أدائها في برامج المحاكاة فقط.
- 2- إن استخدام GTS يحقق الموثوقية وهي المطلب الأهم في التطبيق قيد الدراسة.
- 3- إن استخدام GTS يكون مناسباً في حالة حجم البيانات وعدد العقد المنخفضين نسبياً، وهذا ما سعينا لتحقيقه من خلال نموذج الشبكة المقترح.

يمكن لسبعة أجهزة أن تستخدم GTS ضمن الإطار الكلي نفسه، ويمكن لكل GTS أن يحتل أكثر من فتحة زمنية، و يستطيع الجهاز الذي تم حجز GTS له إرسال بياناته ضمن هذا الـ GTS فقط [19]، [20]. قبل البدء بعملية الإرسال يجب أن يضمن الجهاز أن عملية إرسال أي إطار من المعطيات (بما في ذلك الزمن الفاصل بين الإطارات (LIFS) Long Inter Frame Spacing وإرسال رسالة تأكيد الاستلام (Ack) ستنتهي قبل نهاية الـ GTS وإلا يجب أن ينتظر الجهاز الـ GTS المخصص له في الإطار الكلي القادم. لتحقيق الاتصال في منطقة CFP، يتم تبادل أطر الأوامر من خلال منطقة CAP، ولذا فإن الحجم الأصغر لمنطقة CAP يجب ألا يتم تجاوزه، وهذا ما يوضع قيداً على استخدام كامل المنطقة الفعالة للإطار الكلي من أجل CFP [21].

### 3-3 حساب الطول الأقصى لمنطقة CFP:

لمعرفة العدد الأقصى للحيزات الزمنية من الإطار الكلي المتاحة للاستخدام في منطقة CFP يجب معرفة عدد الحيزات الزمنية التي لا بد من استخدامها في منطقة CAP ( $T_{CAP.Min}$ ) والتي يجب تخصيصها لإرسال إطار المنارة عندما يكون بأعظم حجم  $Beacon_{max}$  وللجزء الأدنى من منطقة CAP الذي لا يمكن تجاوزه

aMinCAPDuration. أي الزمن الذي يجب حجزه لمنطقة CAP:

$$T_{CAP.Min} = aMinCAPDuration + Beacon_{max} = 440 + 266 = 706 \text{ Symbols} \quad (1)$$

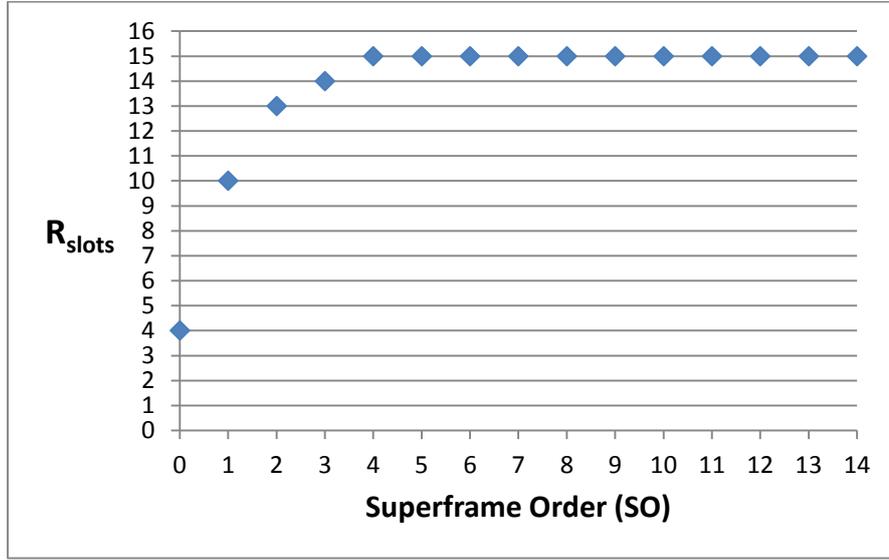
يمكننا تعريف تابع Ceiling والذي يعطينا أقرب عدد طبيعي أكبر أو يساوي العدد الحقيقي المراد تقريبه،

$$[x] = \min \{ n \in Z ; n \geq x \} \quad \text{بالشكل الآتي:}$$

$$A_{slots} = \left\lceil \frac{T_{CAP.Min}}{t_{slot}} \right\rceil \quad (2) \quad \text{بالتالي عدد الحيزات الزمنية المحجوزة لمنطقة CAP:}$$

حيث  $t_{slot} = aBaseSlotDuration * 2^{SO}$  يمثل زمن الحيز الزمني الواحد.

فيكون العدد الأقصى للحيزات الزمنية المتاحة في منطقة CFP:  $R_{slots} = 16 - A_{slots}$



الشكل 2: العلاقة بين  $R_{slots}$  و  $SO$ .

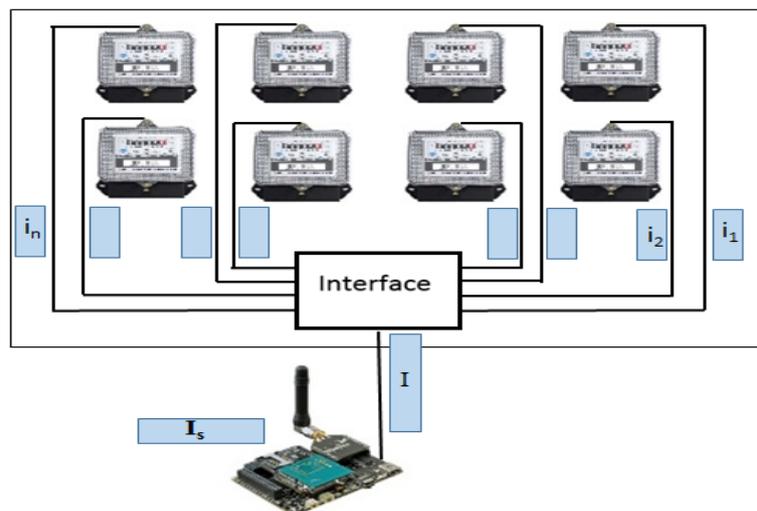
من الشكل (2) نستطيع أن نلاحظ أن قيم  $SO=0,1,2$  هي غير مناسبة في تطبيقنا كونها لا تسمح لنا بالاستغلال الأمثل لمنطقة CFP.

### 3-4- النموذج التصميمي المقترح:

سنقوم باقتراح نموذج تصميمي لجمع قراءات العدادات الكهربائية باستخدام عقدة متحركة تمثل منسق الشبكة وفقاً لمسار محدد ومواعيد ثابتة في حي الضاحية بمدينة جبلة. يتكون حي الضاحية من 105 محاضر سكنية، 20 منها أحادية المداخل أي يحوي كل منها 8 شقق سكنية، و 65 محضراً ثنائي المداخل أي يحوي كل منها 16 شقة، و 20 محضراً ثلاثي المداخل أي يحوي كل منها 24 شقة، وبالتالي لدينا 210 مداخل. كما يوجد 30 فيلا. وسنفترض 20 بناء إضافي مراعاة لبعض الأبنية غير المنظمة.

بدلاً من أن يتم ربط كل عداد كهربائي يخص شقة سكنية بحساس لاسلكي، سيتم ربط عدادات المدخل كلها بحساس لاسلكي وحيد من خلال دائرة ملائمة بهدف توفير الاقتصادي من جهة و رفع كفاءة عملية الجمع من جهة أخرى. ويبين الشكل (3) عملية الربط هذه.

عند القيام بعملية المحاكاة باستخدام NS 2.35 سنهمل مرحلة تجميع قراءات العدادات من خلال دائرة الملائمة، وسنتعامل مع خرج هذه الدارة فقط.



الشكل 3: تجميع قراءات العدادات في حساس واحد.

يحتاج العداد الواحد إلى 17 bits لتمثيل قراءته، وسنفترض حقل عنوان مكون من 15 bits يميز كل عداد ضمن المنطقة (في حالة المناطق السكنية الأكثر كثافة يجب توسيع هذا الحقل).  
يبين الشكل (4) معلومات العداد بينما يبين الشكل (5) خرج دائرة الملازمة.

عنوان العداد	قراءة العداد
15 bits	17 bits

(i) معلومات العداد

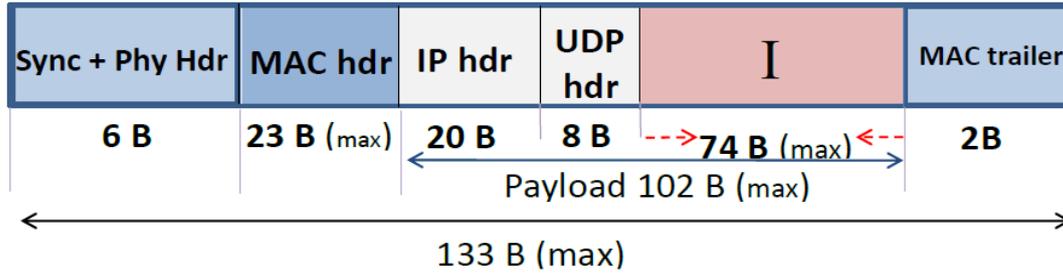
الشكل 4: معلومات العداد.

$i_1$	$i_2$	.....	$i_n$
$n \times 4$ (bytes)			

(I) خرج دائرة الملازمة

الشكل 5: خرج دائرة الملازمة.

بما أن المحضر الواحد مكون من ثمانية شقوق سكنية لكل منها عداد حجم معلوماته  $i=4$  Bytes، إذا سيكون خرج دائرة الملازمة  $4 \times 8 = 32$  Bytes. سيتم تمرير  $I$  إلى الحساس كمعلومات طبقة التطبيقات، ولابد من إضافة ترويسات الطبقات الأدنى قبل إرسالها. إن ارتفاع حجم الرزمة سيعني أنها ستستغرق زمناً أطول كي يتم إرسالها، وهذا ما ينقص من كفاءة النظام حيث ستضطر باقي العقد للانتظار فترة أطول وهذا يضع قيماً على سرعة العقدة المتحركة. لذا سنفترض استخدام بروتوكول UDP وليس TCP لأن حجم ترويسته أقل، وسنترك مهمة تحقيق الموثوقية إلى طبقة MAC من خلال تفعيل تأكيد الاستلام Ack.  
إن بروتوكول IEEE 802.15.4 يفرض حداً على الطول الأقصى لإطار البيانات بحيث لا يتجاوز 127 Bytes وذلك بعد إضافة كل من ترويسة طبقة MAC ونيلها. كما يجب الأخذ بالحسبان ترويسة الطبقة الفيزيائية والمساوية لسنة بايتات، إذاً يصبح الطول الأقصى للإطار المرسل من قبل الحساس 133 بايت، وهذا ما يبينه الشكل (6).

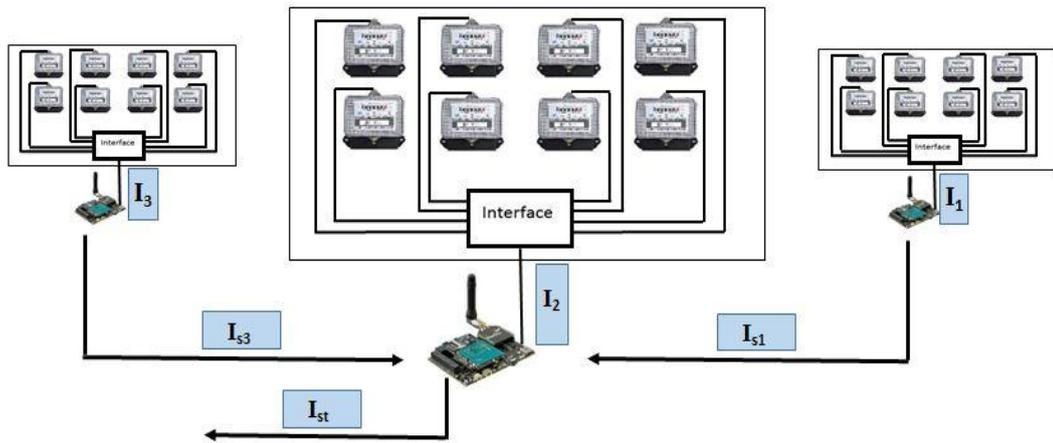


الشكل 6: الطول الأقصى لإطار IEEE 802.15.4.

وبما أن  $I = 32 \text{ B} < 74 \text{ B}$  إذا سيتم إرسال كل رزمة بإطار وحيد. أي سيكون طول الإطار المعبر عن معلومات عدادات أحد المداخل مساوياً  $I_s = 91 \text{ B}$  حيث  $I = 32 \text{ B}$ ، وسنعتبر في أثناء المحاكاة أن معلومات عدادات كل من الفيلات و الأبنية العشوائية أيضاً تساوي  $I_s = 91 \text{ B}$ ، وسيكون الزمن الفاصل بين الأطر دوماً مساوياً لـ 40 رمزاً ويمثل (LIFS (Long Inter Frame Spacing).  
 بما أن العدد الكلي للمداخل 210، وعدد الفيلات 30، وعدد الأبنية الإضافية 20، إذاً يلزمنا 260 حساس، كل منها سيرسل إطاراً، أي مجموع الأطر الذي سيتم نقله عند مرور العقدة المتحركة هو 260 إطار.  
 إن هذا العدد الكبير نسبياً من الحساسات في الحي يعني أن البيئة كثيفة وهذا سيشكل صعوبة في أن تتمكن جميع هذه الحساسات من إرسال أطرها عند السرعات المرتفعة نسبياً لعقدة الجمع من دون حدوث خسارة بالرمز.

لذا اقترحنا أن يتم اختيار أحد حساسات المحضر ليكون ممثلاً عن المحضر و يقوم بعملية جمع لرمز حساسات المحضر الأخرى وذلك قبل موعد مرور العقدة المتحركة التي تقوم بالجمع النهائي للرمز، ففي حالة محضر مكون من ثلاثة مداخل سيكون خرج الحساس الممثل للمحضر عبارة عن ثلاثة أطر كل منها يمثل قراءات عدادات أحد المداخل، وهذا ما يبينه الشكل (7). كما يتم تمرير رزم عدة حساسات كل منها يمثل محضراً إلى واحد منها فقط قبل موعد مرور العقدة المتحركة، يتم اختياره اعتماداً على مسار حركة العقدة.

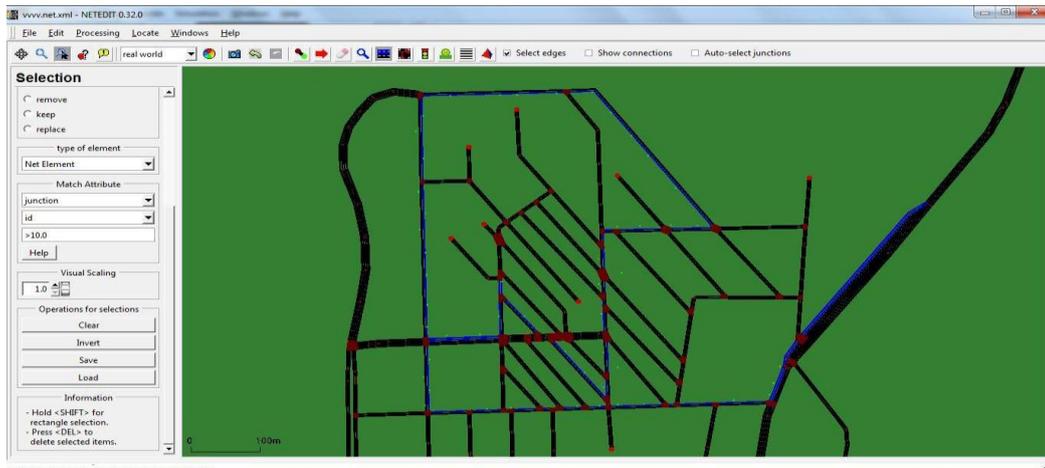
على الرغم من أن المنطقة كثيفة إلا أنه تصادفنا بعض المناطق التي يحدث فيها انقطاع في التغطية و بالتالي يتم عزل حساس أو مجموعة حساسات عن بقية الشبكة، أي لا يمكننا نقل معلومات جميع الحساسات إلى حساس مركزي. وبناءً عليه تمكنا من إنقاص عدد الحساسات التي ستشارك بعملية إرسال الرزم في أثناء مرور العقدة المتحركة إلى 50 حساس كل منها سيرسل مجموعة من الأطر، معظمها لا يمكنه نقل معلوماته إلى أي حساس باستثناء العقدة المتحركة، لأن أقرب الحساسات إليه أبعد من مدى إرساله.



الشكل 7: خرج الحساس الممثل للمحاضر السكنية.

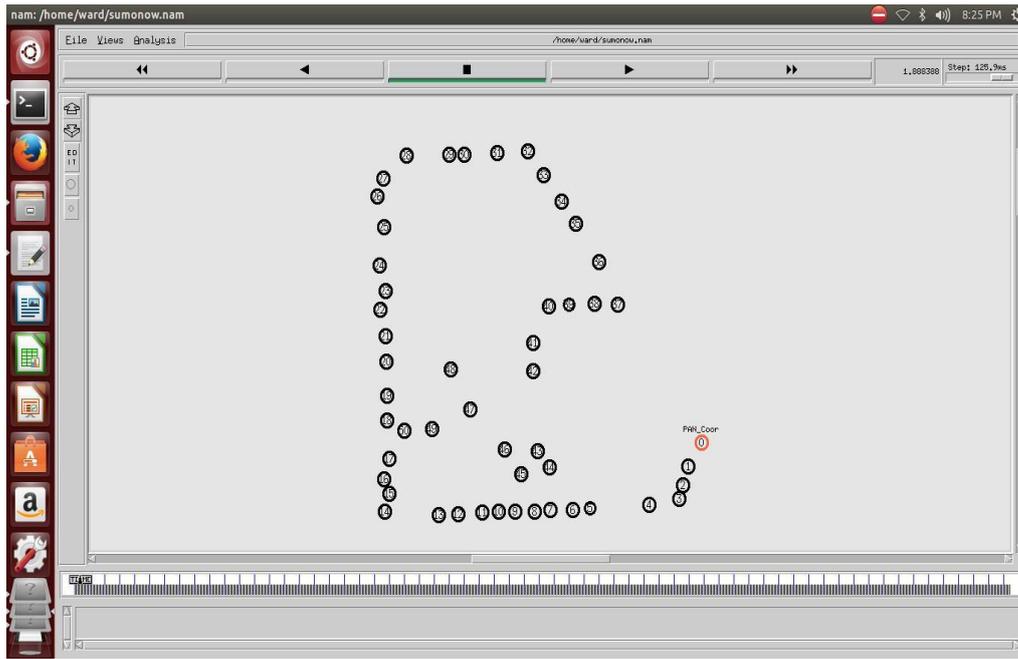
### 3-5 الدراسة العملية للنموذج التصميمي المقترح:

تم الحصول على خريطة حي الضاحية في مدينة جبلة من موقع الخرائط العالمي Open Street Map بامتداد .osm [22] وتم استخدام برنامجي SUMO 0.32.0 و NETEDIT 0.32.0 للحصول على مسار العقدة المتحركة ضمن شوارع الحي وتحويل ملف مسار العقدة إلى صيغة TCL. [23] بحيث يمكن استخدامه في برنامج NS 2.35. يظهر الشكل (9) خريطة حي الضاحية ومسار العقدة المتحركة في برنامج .NETEDIT



الشكل 9: مسار العقدة المتحركة في برنامج .NETEDIT

ثم قمنا ببناء الشبكة باستخدام برنامج NS2.35، وفق ما يظهره الشكل (10)، وذلك اعتماداً على إحداثيات العقد في برنامج NETEDIT، وتم ضبط بارامترات عمل الشبكة وفق القيم المبينة في الجدول (1).



الشكل 10: تخطيط الشبكة كما يظهره Nam editor.

## الجدول 1: بارامترات المحاكاة باستخدام NS 2.35

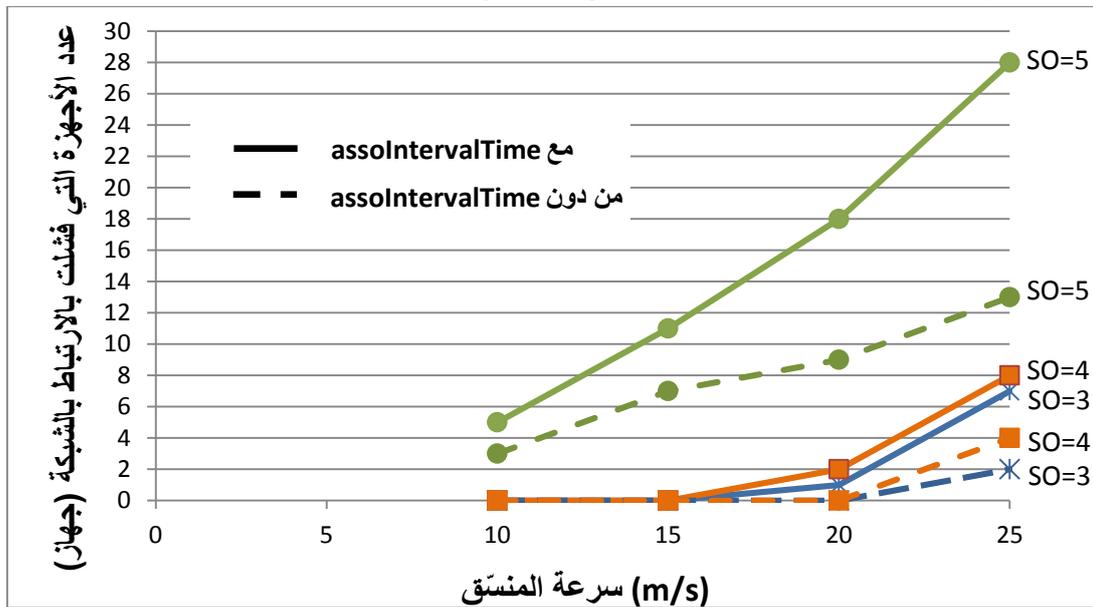
القيمة	البارامتر
50	عدد عقد الشبكة التي تمثل عدادات
30 m <	المسافة بين العقد
10,15,20,25 m/s	سرعة المنسق
2,3,4,5	BO = SO
2,3,4,5 فتحة زمنية	طول GTS
0,1 ثانية	زمن إعادة المسح
91 Bytes	حجم إطار المعلومات
40 m	مدى إرسال العقد
120 m	مدى الاتصال
2.4GHz / 250 Kbps	الحزمة الترددية / معدل الإرسال
500*1000 m <sup>2</sup>	مساحة الشبكة
IEEE 802.15.4 with GTS	البروتوكول المستخدم
متغير تبعاً لسرعة المنسق	زمن المحاكاة

في نموذجنا التصميمي، يرسل المنسق مناراته على القناة الترددية رقم 11، بينما يقوم كل جهاز بمسح القنوات الثلاث الأولى من الحزمة الترددية 2.4 GHz أي القنوات 11,12,13 بالترتيب، في حال تمكن الجهاز من اكتشاف المنارة على القناة 11 فإنه سيستمر بالبحث في القنوات 12,13 وذلك لتقييم الإشارة الأفضل بغية الارتباط بمنسق [24]. في حال لم يتمكن الجهاز من اكتشاف المنارة في أثناء عملية المسح فإنه يقوم بهذه العملية مجدداً بعد انتظار زمن مقداره ( ثانية  $assoRetryInterval=1$  ) وفقاً لما يحدده المعيار IEEE 802.15.4 في برنامج NS 2.35. إن هذا الزمن الأخير هدفه الأساسي توفير الطاقة، لذا سنقوم بجعل قيمته مساوية للصفر كون الحساسات اللاسلكية في تطبيقنا موصولة مباشرة إلى كهرباء المدينة وبعدها سنقوم بمقارنة النتائج.

#### 4- النتائج والمناقشة

تم الحصول على نتائج المحاكاة باستخدام برنامج NS 2.35 وفقاً للبارامترات الموصوفة بالجدول (1)، ورسم المنحنيات البيانية و مقارنة النتائج وفقاً لما يلي:

أ- يبين الشكل (11) عدد الأجهزة التي فشلت بالارتباط بالشبكة كتابع لسرعة المنسق من أجل قيمتين للزمن الفاصل بين عمليتي المسح، الأولى هي القيمة الافتراضية  $assoIntervalTime = 1$  s والثانية هي القيمة صفر أي إلغاء الزمن الفاصل بين عمليتي المسح، وذلك مع افتراض قيم مختلفة لـ  $SO=BO$ .

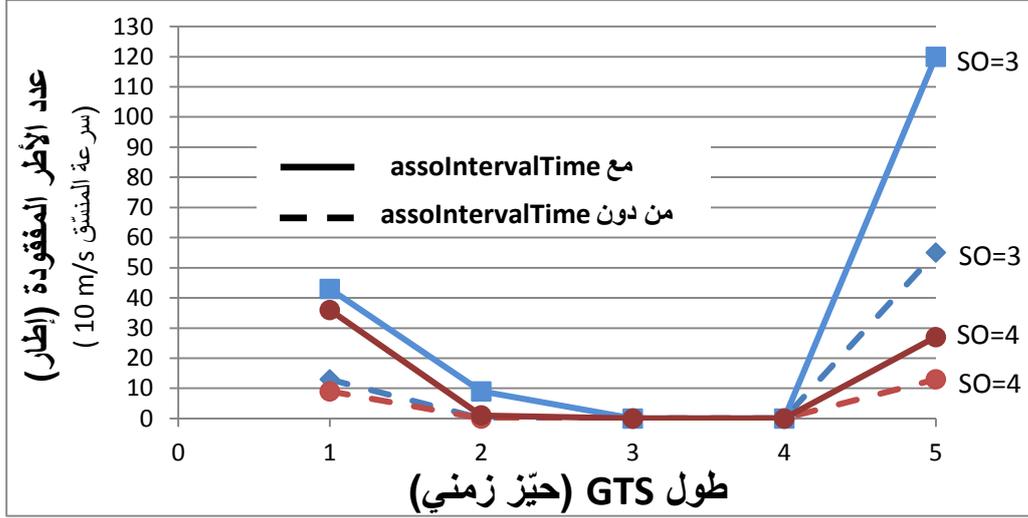


الشكل 11: عدد الأجهزة التي فشلت بالارتباط بالشبكة.

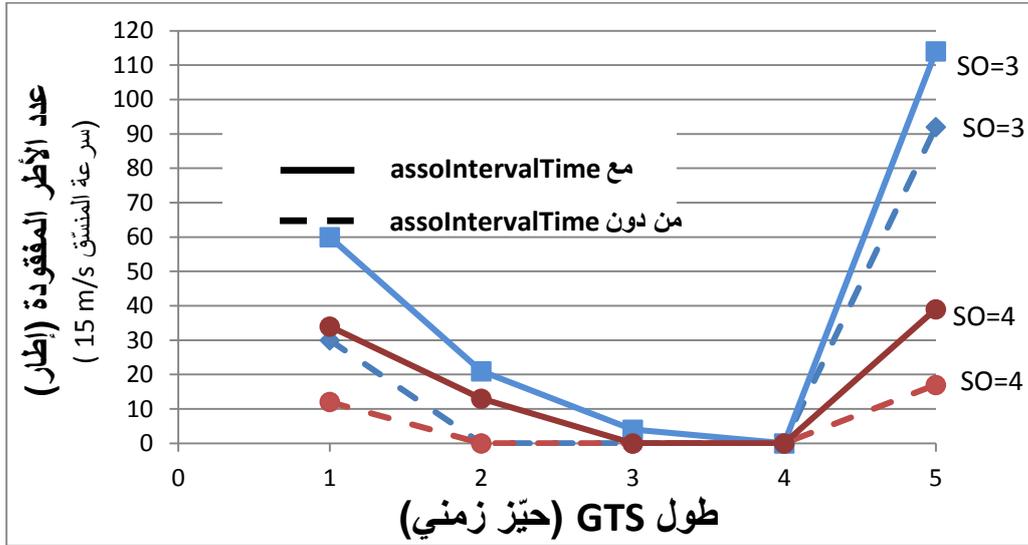
نستطيع أن نلاحظ من خلال الشكل (11) ما يلي:

• يزداد عدد الأجهزة التي فشلت في الارتباط بالشبكة إما بسبب ازدياد قيمة  $SO$  (قيم  $SO > 4$  لا تصلح لتحقيق الجمع الموثوق) أو بسبب ازدياد سرعة المنسق (السرعات فوق 20 m/s لا تصلح للجمع الموثوق) أو بسبب ازدياد كلا العاملين، كما يبين الشكل انخفاض هذا العدد عند جعل قيمة  $assoIntervalTime$  مساوية للصفر.

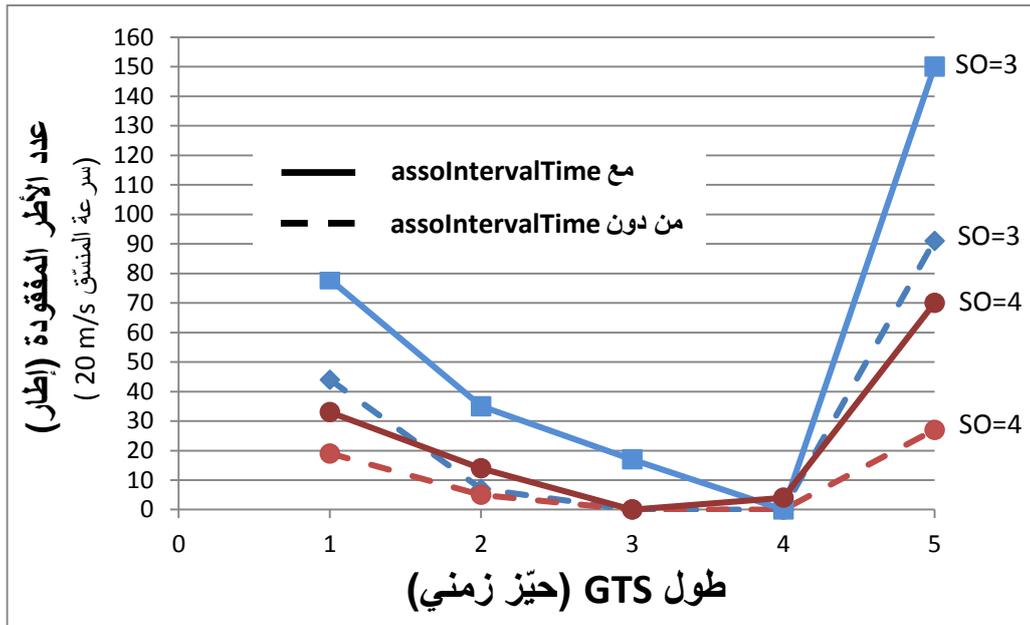
- إن قيم  $SO \geq 5$  لا تحقق ارتباط كل العقد بمنسق الشبكة بالتالي فهي غير مناسبة للاستخدام وفقاً للنموذج التصميمي الذي قمنا بإنشائه. و بالعودة إلى النتائج التي حصلنا عليها من الشكل (2)، نستطيع أن نلاحظ أن قيمة  $SO = 3$  والقيمة  $SO = 4$  هما فقط القيمتان المناسبتان لتحديد طول الإطار الكلي.
- ب- تبين الأشكال (12-13-14) عدد إطارات المعلومات المفقودة كتابع لطول GTS، وذلك مع افتراض قيم متغيرة لكل من  $SO$  وسرعة المنسق، ومن أجل قيمتي  $assolIntervalTime$  الافتراضية والصفوية.



الشكل 12: عدد إطارات المعلومات المفقودة عند سرعة منسق 10 m/s.



الشكل 13: عدد إطارات المعلومات المفقودة عند سرعة منسق 15m/s.



الشكل 14: عدد إطارات المعلومات المفقودة عند سرعة منسق 20m/s.

- ونستطيع أن نلاحظ من خلال دراسة النتائج التي حصلنا عليها من الأشكال (12-13-14) ما يلي:
- تعد قيمة  $SO = 4$  أنسب من قيمة  $SO = 3$  بشكل عام كونها تحقق فقداً أقل في إطارات المعلومات، والسبب في ذلك أنه، واعتماداً على الشكل (12)، فإن  $R_{slots} = 14$  حيّز زمني من أجل  $SO = 3$ ، بينما  $R_{slots} = 15$  من أجل  $SO = 4$ ، أي ستسمح قيمة  $SO$  الأخيرة بعدد أكبر من الحيزات الزمنية لمنطقة CFP وبالتأكيد كل من هذه الفتحات مدته أطول في حالة  $SO = 4$  لأن طول الإطار الكلي سيزداد، ولكن من جهة أخرى فزيادة قيمة  $SO$  سيزداد الزمن اللازم لعملية ارتباط الجهاز بالشبكة.
  - زيادة طول GTS يؤثر أيضاً على فقد الأطر، فمن أجل GTS بطول خمسة حيزات زمنية سيتمكن جهازان فقط من الاتصال في الوقت نفسه عندما  $SO = 3$ ، بينما سيتمكن ثلاثة أجهزة من الاتصال في الوقت نفسه عندما  $SO = 4$ ، وهذا ما يفسر سبب الضياعات الكبيرة بأطر المعلومات عند هذه القيمة لـ GTS بالأخص من أجل  $SO = 3$ .
  - إمكانية القيام بعملية الجمع عند سرعات للمنسق تصل إلى حدود 70 Km/h عند قيم محددة للبارمترات، ومن الممكن أن نصل إلى سرعات أعلى من ذلك وهذا ما يعد تحسناً على سرعة المنسق أثناء عملية الجمع مقارنة بالدراسات المرجعية.
  - و أخيراً نستطيع أن نلاحظ التحسن الواضح بالأداء من حيث انخفاض عدد أطر المعلومات المفقودة عند جعل قيمة  $assolIntervalTime$  مساوية للصفر.

## 5- الاستنتاجات و التوصيات

- أ- تم في هذا البحث اقتراح نموذج تصميمي لشبكة الحساسات اللاسلكية يعتمد على الأبعاد الحقيقية لحي الضاحية في مدينة جبلة السورية، قادر على الجمع الموثوق لقراءات العدادات الكهربائية باستخدام المنسق المتحرك في منطقة كثيفة سكانياً، وذلك من خلال الاتصال باستخدام GTS، على الرغم من أن هذا النوع من

- الاتصال لا يصلح في مثل هذه البيئات للجمع الموثوق للمعلومات.
- ب- إن ضبط قيم بارمترات الإطار الكلي و بارمترات الاتصال من خلال GTS، و جعل قيمة  $assolIntervalTime$  مساوية للصفر، مكننا من تحقيق الجمع الموثوق عند سرعات للمنسق قد تزيد على 70 Km/h.
- ج- نستطيع أن نلاحظ أن زمن ارتباط عقدة ما بالمنسق يستغرق زمناً طويلاً نسبياً من مجمل زمن الاتصال، وهذا ما سيؤثر سلباً على أداء النظام حتى في حال تمكن العقدة من الارتباط، لذا نوصي باستخدام خوارزميات محسنة لعملية الارتباط من شأنها إنقاص هذا الزمن.
- د- إن الاتصال باستخدام GTS يناسب الشبكات ذات العدد القليل من الأجهزة، لذا في حالة الشبكات الكثيفة سنحتاج لتطوير هذا النوع من الاتصال أو استبدال بروتوكول IEEE 802.15.4 كلياً. حيث أظهرت النتائج أنه عند زيادة طول GTS سيتمكن عدد أقل من العقد بالنجاح في عملية الحجز، بالتالي سيرتفع معدل فقد الأطر، وبأفضل الأحوال لا يمكن لأكثر من سبعة أجهزة من الاتصال في الوقت نفسه باستخدام GTS.
- هـ- نستطيع أن نلاحظ أن الترويسة تستهلك جزءاً كبيراً من حجم إطار المعلومات، وبما أن عملية نقل المعلومات تتم بفقرة واحدة مع المنسق، لذا نوصي بقيام العقد الممثلة للمحاضر بعملية تحصيل للمعطيات  $data\ aggregation$  مما يجعل حجم الأطر أقل، وهذا ما سيزيد من كفاءة النظام ولكن على حساب التكلفة الاقتصادية.
- و- يقتصر النظام المقترح على جمع قراءات العدادات، إلا أنه في تطبيقات المدن الذكية  $smart\ cities$  لا بد من جمع معلومات أخرى، كساعات الاستهلاك الأقصى وفترات تراجع جودة الخدمة وغيرها، لذا لا بد من تعديل أحجام الأطر ومعلوماتها بالتالي إعادة تقييم أداء الشبكة.

## 6- المراجع

- [1] CECILIA, A. and SUDARSANAN, K., *A Survey on Smart Grid*. 2016 IEEE ICETETS, 2016, PP. 1-7.
- [2] FRANCESCO, M.; DAS, S. and ANASTASI, G., *Data Collection in Wireless Sensor Networks with Mobile Elements: A Survey*. *ACM Transactions on Sensor Networks*, Vol. 8, N.1, 2011, pp. 1- 34.
- [3] ZAREEI, M.; ISLAM, A.,K. ; VARGAS, C.; MANSOOR, N.; GOUDARZI, S. and REHMANI, M.,H., *Mobility-aware medium access control protocols for wireless sensor networks: A survey*, *Journal of Network and Computer Applications* (2018), doi: 10.1016/j.jnca.2017.12.009.
- [4] Boukerche,A. and Zhou, X., *MAC Transmission Protocols for Delay- Tolerant Sensor Networks*, *Computer Networks*, 2017, doi: 10.1016/j.comnet.2017.06.012.
- [5] BURUNKAYA, M. and PARS, T., *A Smart Meter Design and Implementation Using ZigBee Based Wireless Sensor Network in Smart Grid*. 2017 IEEE 4th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE), 2017, pp. 158-162.
- [6] ALI, H.; CHEW, W., Y.; KHAN, F. and WELLER, S., R., *Design and Implementation of an IoT Assisted Real-Time ZigBee Mesh WSN Based AMR System for Deployment in Smart Cities*. 2017 the 5th IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering, 2017, pp.264-270.
- [7] NAYAKA, R., J. and BIRADAR, R., C., *Cluster Based Data Aggregation in Wireless Sensor based network for Public Utility Control and Management*. 2014 IEEE International Conference on Advances in Electronics, Computers and Communications (ICAIECC), 2017, pp.1-5.
- [8] LI, L.; XIAOGUANG, H.; JIAN, H. and KETAI, H., *Design of New Architecture of AMR System in Smart Grid*. 2011 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 2011, pp.2025- 2029.
- [9] NHAN, N.; VO, M.; NGUYEN, T and HUYNH, H., *Improving the performance of mobile data collecting systems for electricity meter reading using wireless sensor network*. The 2012 IEEE International Conference on Advanced Technologies for Communications, 2012, pp. 241 - 246.
- [10] RAZAN, M.; LE, H.; ASLAM, N. and HUSSAIN, S., *A novel MAC proposal for*

- critical and emergency communications in Industrial Wireless Sensor Networks.* Computers and Electrical Engineering, 2018,  
<https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2018.02.027>.
- [11] ZHOU, X. and BOUKERCHE, A., *A MAC transmission strategy in sparse Vehicular Delay-Tolerant Sensor Networks.* Springer Science Media, New York, 2015, pp.1-16.
- [12] PAPADOPOULOS, G.; KOTSIOV, V.; GALLAIS, A.; CHAIZIMISIOS, P. and NOEL, T., *Low-power neighbor discovery for mobility-aware wireless sensor networks.* Ad hoc networks, 2016, pp. 66-79.
- [13] PENG, F., *A Novel Adaptive Mobility-Aware MAC Protocol in Wireless Sensor Networks.* Springer Science Media, New York, 2014.
- [14] PAPADOPOULOS, G.; KOTSIOV, V.; GALLAIS, A.; CHAIZIMISIOS, P. and NOEL, T., *Optimizing the Handover Delay In Mobile WSNs.* 2015 IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT), 2015, pp. 210-215.
- [15] NS2: the network simulator, <https://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-tests.html> (last accessed at Feb. 2018).
- [16] ISSARIYAKUL, T. and HOSSAIN, E., *Introduction to Network Simulator NS2.* Springer Science Media, Second Edition, 2012, pp. 535.
- [17] CHOI, W. and LEE, S., *Implementation of the IEEE 802.15.4 module with CFP in NS-2.* Springer Science Media, 2014, PP. 1-10.
- [18] IEEE 802.15.4 Standard-2003, *Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR WPANs)*, IEEE SA Standards Board, 2003.
- [19] JURCIK, P.; KOUBAA, A.; ALVES, M.; TOVAR, E. and HANZALEK, Z., *A Simulation Model for the IEEE 802.15.4 Protocol: Delay/Throughput Evaluation of the GTS Mechanism.* IEEE 2007 ISCTS, 2007, pp. 109-116.
- [20] FAN, S.; LI, J. and SUN, H., *Study and Simulation of GTS Allocation in Beacon Enabled IEEE 802.15.4.* IEEE 2010 6th international conference on WiCOM, 2010, pp. 1-5.
- [21] SALLES, N.; KROMMENACKER, N. and LECUIRE, V., *Performance Study of IEEE 802.15.4 for Industrial Maintenance Applications.* IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT2008), 2008, pp.1-6.
- [22] <https://www.openstreetmap.org> (last accessed at Feb. 2018).

- [23] SUMO: Simulation of Urban Mobility, <http://sumo.dlr.de/wiki/Tutorials>, (last accessed at Feb. 2018).
- [24] ZHANG,F.; WANG,F.; DAI,B. and LI,Y., *Performance Evaluation of IEEE 802.15.4 Beacon-enabled Association Process*. IEEE 2008 aina workshops, 2008, pp. 541– 546.