

تحسين أداء منظومات المراقبة للبيوت البلاستيكية باستخدام شبكات الحساسات بالاعتماد على البنية الهجينة ZigBee/Ethernet

د. جمال خليفة*

هلا ابراهيم**

(تاريخ الإيداع 16 / 2 / 2021. قَبْلُ للنشر في 6 / 7 / 2021)

□ ملخص □

تُعدّ الزراعات المحمية والبيوت البلاستيكية واحدة من التطبيقات التي تُستخدم فيها شبكات الحساسات السلكية منها واللاسلكية، ويعتمد الإنتاج في هذا النوع من الزراعات بشكل رئيسي على مراقبة البارامترات المسؤولة عن نمو المحاصيل الزراعية والتحكم بالمشغلات التي تؤمن البيئة المناسبة للحصول على إنتاج جيد حتى خارج مواسمها. قمنا في هذا البحث بالاهتمام بعملية نشر الحساسات اللاسلكية ضمن البيوت البلاستيكية، ودراسة مناعة الشبكة ضد تعطل بعض الحساسات، وأظهرت النتائج مناعة الشبكة عند تعطل عقد رئيسية، كما قمنا بدمج واستخدام تقنيات اتصال هجينة لاسلكية/سلكية لتأمين مسار اتصال أكثر ثباتاً من أجل نقل البيانات إلى مركز المراقبة، وتم تصميم الشبكة والتأكد من عملية إيصال بيانات الحساسات إلى هدفها عبر أكثر من بوابة باستخدام المحاكى NS3.

الكلمات المفتاحية: شبكات الحساسات اللاسلكية WSN، الشبكات الهجينة، بوابات Gateways، البيوت البلاستيكية.

* أستاذ - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
** طالبة دراسات عليا (ماجستير) - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Improving the Performance of Greenhouse Farms Monitoring Using Sensors Networks Based on Hybrid ZigBee/Ethernet

Dr. Jamal Khalifeh*
Hala Ibraheem**

(Received 16 / 2 / 2021. Accepted 6 / 7 / 2021)

□ ABSTRACT □

The production of agricultural crops depends in large part of it on protected crops in general and on greenhouses in particular. And the production of these facilities depends mainly on monitoring and controlling he parameters of suitable conditions for planting and growing plants which ensures a bumper harvest even outside of its usual seasons.

In this research, we paid attention to the deployment of wireless sensors in greenhouses, and studying the immunity of the network against the failure of some sensors. The results showed the network immunity when major nodes broke down. We have also majored wireless/wired communication technologies. In order to secure a more stable communication path for data transmission to the monitoring center. And the network is designed and ensure the process of delivering the sensors data to its target through more than one gateway using the NS3 emulator.

Keywords: wireless sensor networks WSN; Hybrid networks; Gateways; Greenhouses.

*Professor, Communication & Electronic Department, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University; Lattakia, Syria.

**Postgraduate student (Master); Communication & Electronic Department, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University; Lattakia, Syria.

مقدمة:

ازداد الاهتمام والاعتماد على الشبكات اللاسلكية منذ العام 2006 بشكل أساسي، حيث ازداد عدد الأبحاث المنشورة التي تهتم بتطبيق الحساسات اللاسلكية في البيوت اللاسلكية بشكل مضطرد [1]. وتشير الدراسات والأبحاث إلى نجاح تجربة الاعتماد على التقنيات اللاسلكية بشكل عام في مراقبة البيوت البلاستيكية وفي التحكم بها [2]. ومن أنسب التقنيات اللاسلكية المعتمدة في مراقبة البيوت البلاستيكية والتحكم بها تعد التقنيات المعتمدة على ZigBee أنسبها من حيث بساطتها وسهولة تطبيقها، ورخص تكاليفها، وملائمة معدلاتها، واستهلاكها المنخفض للطاقة [1,2]. إذ يعد استخدام هذه التقنية في البيوت البلاستيكية التي لا تشغل مساحات كبيرة أو عدداً كبيراً من البيوت الصغيرة من أفضل الحلول وأنجعها في مراقبة هذه البيوت والتحكم بها [3]. على الرغم من أن الأنظمة اللاسلكية قد حققت رواجاً هائلاً في تطبيقات نقل المعطيات العاملة في بيئات التحكم والمراقبة. إلا أنه لا يمكن الاستغناء عن الربط السلكي، لذلك من المفيد الدمج بين التقنيتين السلكية واللاسلكية وذلك للتغلب على عيوب كلا النظامين، والاستفادة من مزايا كل منهما، وتحقيق التكامل بين مكونات نظام التحكم والمراقبة المستخدم في مراقبة البيوت البلاستيكية.

سنركز في هذا البحث على موضوعين رئيسيين:

تركز اهتمامنا في الجزء الأول من البحث بشكل رئيسي على تصميم شبكة الحساسات الموفرة للطاقة والقادرة على تجاوز إخفاق بعض العقد، وذلك وفق الأبعاد المعيارية للبيوت البلاستيكية. وأنجز هذا الجزء باستخدام المحاكى NS2 تركيز اهتمامنا في الجزء الثاني من البحث على كيفية إيصال بيانات شبكة الحساسات إلى المستخدم النهائي أو مركز المراقبة وباستخدام التقنيات الهجينة سلكية/لاسلكية. تطلب منا الأمر لتحقيق هذا الهدف تصميم أكثر من بوابة لنقل أطر البيانات بين الشبكات الهجينة المسؤولة والمشاركة بنقل بيانات شبكة الحساسات، كذلك الانتقال إلى محاكي الشبكات NS3، لتصميم الشبكة والبوابات، نظراً لصعوبة تصميمها ضمن المحاكى NS2.

أهمية البحث وأهدافه:

يزداد الاعتماد على شبكات الحساسات في مراقبة الزراعات المحمية والتحكم بالمشغلات التي تؤمن لها النمو في الظروف المناسبة مثل مشغلات صمامات الري ومشغلات تسخين الهواء وتكييفه وغير ذلك. تكمن أهمية هذا البحث في أنه يقدم دراسة لآلية الربط بين التقنيتين السلكية/اللاسلكية (ZigBee/Ethernet) ومحاكاة لشبكة الحساسات الهجينة على مستوى الشبكات الصغيرة والكبيرة بما يؤمن استخلاص التوصيات للاسترشاد بها حين العمل على تركيب مثل هذه الشبكات في أماكنها لتعمل بالشكل الأفضل.

يهدف هذا البحث إلى دراسة وتصميم بنية شبكية هجينة (سلكية/لاسلكية)، لربط الأجزاء الهجينة (ZigBee - Ethernet) من شبكة هجينة مناسبة لنقل المعطيات في منظومات المراقبة للبيوت البلاستيكية، وإثبات فاعلية استخدام هذه التقنية على مستوى طريقة التوصيل بين هذه البروتوكولات، واقتراح البنى المناسبة لعمل هذه الشبكات بما يتناسب مع المساحة المزروعة وعدد البيوت البلاستيكية المستخدمة وذلك باستخدام المحاكاة المعتمدة على المحاكى الشبكي NS-2 NS-3.

طرائق البحث ومواده:

تعتمد منهجية البحث على إنشاء سيناريو للبنية الشبكية الخاصة بالجزء اللاسلكي من البنية الشبكية الهجينة المقترحة، وإجراء المحاكاة واختبار مناعة الشبكة لتعطل بعض الحساسات الرئيسية، ووضع البنية الشبكية الهجينة السلكية/اللاسلكية المقترحة وتصميم بوابة الربط وإجراء المحاكاة والحصول على النتائج.

تم اعتماد مجموعة من البارامترات التي تتعلق بأداء الشبكة وهي: معدل تسليم الحزم Packet Delivery Ratio (PDR)، متوسط زمن التأخير (End-to-End Delay (EED)، الرجرجة Jitter.

يمكن صياغة طريقة البحث بالخطوات الآتية:

- دراسة الدراسات المرجعية التي تعنى بمعالجة المشكلة ذاتها أو المشاكل المشابهة.
- اختيار البنية الشبكية للجزء اللاسلكي من الشبكة والمناسبة لمراقبة البيوت البلاستيكية وإجراء المحاكاة والحصول على النتائج.
- تصميم البوابة الهجينة السلكية/اللاسلكية واختيار البنية الشبكية الهجينة المقترحة.
- إجراء المحاكاة باستخدام المحاكى الشبكي NS3 والحصول على النتائج والتوصيات.

الدراسة المرجعية:

- اعتمد [4] على مراقبة البيوت البلاستيكية وتغطية مساحات كبيرة وذلك باستخدام تقنية هجينة GSM/ZigBee، كما تم ربط شبكات الحساسات والمشغلات اللاسلكية مركزياً، كان الهدف من هذا البحث تأمين طريقة مراقبة واسعة ورخيصة الكلفة. ولكن المشكلة الرئيسية التي ظهرت هي تعقيد استخدام بوابة ZigBee/GSM، بالإضافة إلى مشكلة تتعلق بتأمين التغطية الدائمة بشبكة GSM.
- اعتمد [5] على مراقبة البيوت البلاستيكية باستخدام التقنية الهجينة ZigBee/Wi-Fi لتحقيق ربط البنى الشبكية مع المجمع الرئيسي، ولكن المشكلة الرئيسية كانت التكلفة المرتفعة للتجهيز والمراقبة بسبب الاستخدام الهجين لشبكتي Wi-Fi و ZigBee بالإضافة إلى تعقيدات استخدام البوابة التي تربط التقنيتين معاً.
- اعتمد [6] على مراقبة البيوت البلاستيكية باستخدام شبكة هجينة ZigBee/CAN، وتطلب ذلك فصل الشبكة إلى مستوى أدنى تم فيه استخدام تقنية ZigBee لتوصيل عقد التحسس اللاسلكية، مستوى أعلى تم تصميمه ليقوم بنقل معطيات مجتمعات شبكات ZigBee إضافة إلى معطيات التشغيل للعقد التي تعمل كمشغلات. ولكن كانت المشكلة الرئيسية كانت في صعوبة تصميم البوابة الهجينة ZigBee/CAN بالإضافة إلى صعوبة ملائمة معدلات الإرسال بين التقنيتين المستخدمتين وهذا يؤثر بشكل عام على أداء الشبكة ككل.
- اعتمد [7] على مراقبة البيوت البلاستيكية على شبكة هجينة ZigBee/CAN محسنة، حيث تم تصميم الجزء المعتمد على CAN ليعمل في الاتجاهين كناقل خطي مضاعف لتجنب بعض الاختناقات الناتجة عن الوصل الهجين ZigBee/CAN، ولكن المشكلة الرئيسية كانت في صعوبة ملائمة معدلات الإرسال بين التقنيتين.
- استخدم [8] عقدة محمولة على جسم متحرك ألياً للتنقل بين المساحات وجمع المعطيات من عقد شبكة ZigBee من أجل حل مشكلة الشبكات الكبيرة. وتكمن سيئة هذا البحث في ضرورة استخدام بوابات دخول إلى الأنترنت، وضرورة توفر بنية تحتية مناسبة لتقديم خدمات الأنترنت في أماكن تواجد البيوت البلاستيكية وهذا غير مضمون دائماً في بيئاتنا الزراعية.

تعتمد معظم الدراسات في هذا المجال تقنيات الاتصال اللاسلكية لإيصال بيانات الحساسات الى المستخدم النهائي أو مركز المراقبة، ومن المعلوم أن الوسط اللاسلكي متغير، ويتأثر بالظروف الجوية حيث يختلف أدائه من فصل لآخر ومن حين لآخر، كذلك قد لا تتوفر التغطية اللاسلكية المناسبة، لذا قمنا باستخدام تقنيات الاتصال السلكية الأكثر استقراراً في نقل البيانات لإيصال تنبيهات الحساسات الى هدفها النهائي الذي قد يتواجد على مسافة بعيدة من البيئة الزراعية.

1. تقنية الاتصال ZigBee:

صممت تقنية ZigBee من قبل ZigBee alliance بالاتحاد مع البروتوكول IEEE 802.15.4 حيث يعرف ZigBee alliance الطبقات العليا من طبقة الشبكة حتى طبقة التطبيقات، في حين تستخدم ZigBee طبقتي Mac و Phy الخاصتين بالبروتوكول IEEE 802.15.4 [10,11].

تستخدم تقنية ZigBee في مجالات عديدة أهمها أغراض التحكم وخاصةً من أجل شبكات الحساسات اللاسلكية ذات معدلات نقل البيانات المنخفضة والاستهلاك المنخفض للطاقة حيث تتمتع الأجهزة التي تستخدم هذه التقنية بعمر بطارية طويل كما تتيح نقل البيانات بشكل آمن وبموثوقية جيدة وتكلفة منخفضة نسبياً [12].

1.1 أنواع الأجهزة في أنظمة ZigBee:

يوجد نوعان للأجهزة في أنظمة ZigBee هما: الأجهزة كاملة الوظائف (Full Function Device) FFD، الأجهزة منخفضة الوظائف (Reduced Function Device) RFD، يجب أن تحتوي الشبكة على الأقل جهاز كامل الوظائف يعمل كمنسق للشبكة [13].

يعمل الجهاز كامل الوظائف بثلاثة أنماط هي منسق الشبكة أو منسق أو جهاز عادي ويستطيع أن يخاطب كلاً من الأجهزة منخفضة الوظائف وكاملة الوظائف في حين أن الجهاز المنخفض الوظائف لا يستطيع مخاطبة إلا الأجهزة مكتملة الوظائف لذلك في التطبيقات البسيطة والتي لا تحتاج لإرسال كميات كبيرة من البيانات [12].

1.2. طوبولوجيا شبكات ZigBee:

1.2.1. طوبولوجيا الشبكة النجمية:

تبدأ الاتصالات في الشبكة النجمية بين الأجهزة الموجودة في الشبكة وتحكم مركزي واحد يدعي منسق الشبكة الذي يجب أن يكون جهاز كامل الوظائف FFD وتقع الأجهزة الأخرى المتصلة به سواء أكانت أجهزة كاملة الوظائف أو أجهزة منقوصة الوظائف RFD ضمن المجال الذي يغطيه حيث يكون لكل شبكة معرف خاص بها لا تستعمله أية شبكة ضمن نفس المجال الراديوي وهذا يتيح لكل شبكة العمل بشكل مستقل [12-14].

• المنسق (coordinator):

- وهو جهاز هام جداً في بناء شبكات الحساسات اللاسلكية حيث يقوم ب:
 - تهيئة الشبكة وتخصيص القنوات الترددية من أجل عملية الاتصال اللاسلكي.
 - توجيه حركة البيانات ضمن الشبكة.
 - في التشكيل النجمي يلعب هذا الجهاز دور مركز الشبكة الذي تمر إليه جميع البيانات من الأجهزة الطرفية. وفي التشكيل الشجري فيمثل رأس الهرم وفي التشكيل الشبكي يكون الجذر الأساسي للشبكة.
- الموجه أو الجهاز المكتمل الوظائف (Full Functional Device FFD):

يستطيع هذا الجهاز استلام الرسائل وإرسالها عبر الشبكة، كما من الممكن أن يشكل عقدة أب لمجموعة من العقد النهائية، ويستخدم هذا الجهاز عند الحاجة لعقد وسيطة وتحديدًا في تشكيلة الشبكة والشجرة. تستطيع الموجهات أن تأخذ مكان العقد النهائية، ولكن لن يكون هذا فعالاً كون العقد النهائية تحتاج لان تستيقظ وتنام وفقاً لجدول دورية محددة مسبقاً أو مشكلة ضمن الشبكة، أما عملية التوجيه تحتاج لاستيقاظ مستمر.

• الجهاز النهائي منقوص الوظائف (Reduced Functional Device RFD):

وهو العقدة المسؤولة عن تحسس البارامترات المطلوبة وتسجيل البيانات لإرسالها إلى الموجهات والعقد الآباء يمكن أن تعمل أو تتوقف عن العمل حسب جداول زمنية محددة وهذا أمر مهم من أجل توفير الطاقة المستهلكة.

1.2.2. طوبولوجيا شبكات الند للند:

يوجد في هذه الشبكات أيضاً منسق واحد يجب أن يكون جهازاً كامل الوظائف ولكن أي جهاز في الشبكة يمكن أن يتصل بأي جهاز آخر طالما أنهما في نفس المجال الترددي لذلك فهي تدعم التوجيه متعدد الطرق (multipath routing). [14]

3.1. تقنية 6LowPan :

عملت هذه التقنية على دعم شبكات الحساسات لبروتوكول الانترنت الجديد IPv6 عبر شبكات المنطقة الشخصية اللاسلكية منخفضة الطاقة من خلال ضغط ترويسة IPv6 الكبيرة الحجم لتلائم اطار عمل الحساسات صغيرة الحجم، نشأ مفهوم 6LowPan من فكرة أن "بروتوكول الإنترنت يمكن وينبغي تطبيقه حتى على أصغر الأجهزة كالحساسات، وأن الأجهزة منخفضة الطاقة ذات القدرات المحدودة للمعالجة يجب أن تكون قادرة على المشاركة في إنترنت الأشياء Internet of Things IOT. حيث حدد آليات تغليف وضغط ترويسة تسمح بإرسال حزم IPv6 واستلامها عبر الشبكات القائمة على المعيار IEEE 802.15.4. ولابد من الإشارة الى أن تقنية Zigbee قد قامت بتضمين 6LowPan في الإصدارات الحديثة Zigbee IP [15] [16].

2. تقنية الإيثرنت (Ethernet)

تعتبر الإيثرنت عن مجموعة من القواعد العامة لطريقة الربط الفيزيائي ونقل رسائل المعطيات بين مجموعة من محطات العمل في الشبكات المحلية، وتعتبر تمثيلاً للطبقتين الأولى (الطبقة الفيزيائية) والطبقة الثانية (طبقة ربط المعطيات) في توصيف اتصال النظم المفتوحة (OSI Model) فهي تقوم بـ :

تحديد خصائص وماهيات ووظائف المكونات المادية (الطبقة الفيزيائية من نموذج OSI) مثل شكل الكابلات، شدة التيار المتحكم بالإشارات الكهربائية الحاملة لرسائل المعطيات وما إلى ذلك.

خصائص طبقة ربط المعطيات في نموذج OSI مثل MAC Address وبروتوكولات طبقة ربط المعطيات Data Link Layer [9]، علماً أنه سستخدم هذه التقنية في الجزء السلبي من البنية الهيكلية المقترحة للربط مع مركز التحكم والمراقبة.

3. بروتوكولات التوجيه في شبكات الحساسات اللاسلكية:

يتضمن القسم العملي مقارنة بين بروتوكولين من بروتوكولات التوجيه هما ZBR،AODV [19] [18].

1. 3 بروتوكول التوجيه AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector):

يُعد بروتوكول التوجيه عند الطلب AODV من بروتوكولات التوجيه التفاعلية، وهو بروتوكول مخصص للنقل في الشبكات اللاسلكية غير المجهزة (ad-hoc). يتصل وفق هذا البروتوكول كل حساس في الشبكة مع جميع الحساسات

الواقعة ضمن نطاق تغطيته يكون لديه القدرة على إرسال البيانات إلى أي منها، يقوم هذا البروتوكول بتأسيس مسارات التحويل عند الحاجة فقط، فعندما لا يمتلك الحساس مسار التحويل إلى الحساس الهدف فإنه يقوم بإرسال جماعي لحزمة PREQ تتضمن عنوان الحساس الهدف، وتقوم جميع الحساسات الوسيطة التي تستقبل الحزمة بتسجيل المسار الذي اتبعته الحزمة للوصول إليها ثم تقوم بالبحث عن عنوان الهدف، فإذا كانت الحزمة مرسله إليها أو كانت تحتوي في جدول تحويلها على مسار صالح للوصول إلى الحساس الهدف فإنها تقوم بإرسال حزمة PREP إلى الحساس المرسل، وإلا فإنها ستقوم بإعادة الإرسال الجماعي للحزمة PREQ. وفي حال فشل الحصول على مسار يتم إرسال حزمة PERR للدلالة على فشل الحصول على مسار.

2.3 بروتوكول التوجيه في ZigBee (ZigBee Routing Protocol ZBR):

يستخدم في طوبولوجيا الشجرة، يقوم المنسق في هذه الحالة ببناء الشبكة وتهيئة كافة بارامترات.

يحدد منسق الشبكة خلال طور الإنشاء: العدد الأعظمي للعقد $Rm \cdot Cm$ حيث:

Cm: العدد الأعظمي من الأبناء.

Rm: العدد الأعظمي من الأبناء لكل أب.

يتم إنشاء المسار كما يلي: تتحقق العقدة المصدر إذا كانت العقدة الهدف واحدة من أحفادها (بسبب وجود عنوان الشبكة في مجموعة العقدة الابن) وإلا فإن المصدر يرسل الحزمة إلى العقدة الأب، العقدة الأب بدورها تقوم بإرسال الحزمة إلى العقدة الأب الخاصة بها وهكذا حتى الوصول إلى العقدة الهدف.

العمق (depth) هو أصغر عدد من القفزات للوصول إلى المنسق باستخدام وصلة أب - ابن فقط.

4. بارامترات العمل

4.1 معدل تسليم الحزم (PDR): PACKET DELIVERY RATIO

يمثل نسبة عدد الحزم التي تم استقبالها بشكل صحيح عند الهدف إلى عدد الحزم التي تم إرسالها من المصدر ضمن فترة زمنية محددة، وكلما كانت قيمته أكبر كان الأداء أفضل.

4.2 متوسط زمن التأخير (EED): End-to-End Delay

يمثل متوسط الزمن الذي تستغرقه الحزمة من المرسل إلى المستقبل، كلما كان زمن التأخير أقل كان أداء الشبكة أفضل.

4.3 الرجرجة (Jitter):

هو الفرق في أزمنة تأخير الحزم مقارنة بالقيمة المتوسطة لزمن التأخير.

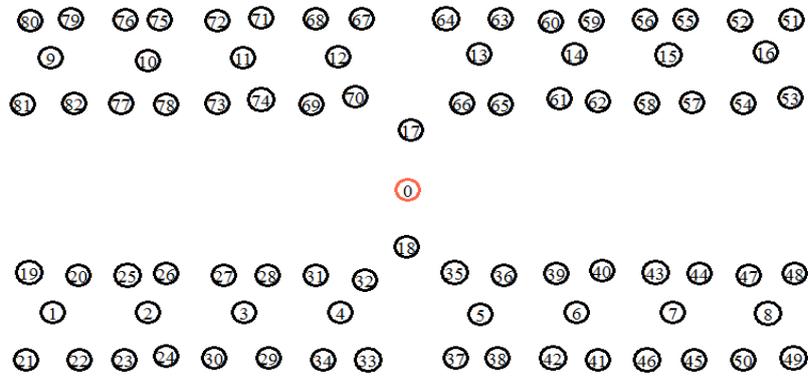
5. بيئة العمل:

استُخدم المحاكى NS2 [19] من أجل تجهيز شبكة الحساسات اللاسلكية الموزعة في البيوت البلاستيكية، تتألف الشبكة التي تعمل وفق النمط المتزامن من 83 حساس موزعة على مساحة مقدارها $180 \times 110 \text{ m}^2$ ، تحوي 16 بيت بلاستيكي، مقسمة إلى 4/ مجموعات تحتوي كل مجموعة أربعة بيوت بلاستيكية، مع مساحة خالية بين كل مجموعة والتي تليها من أجل التهوية، مساحة البيت البلاستيكي الواحد $10 \times 50 \text{ m}^2$ ، تتوزع في كل بيت 5 حساسات.

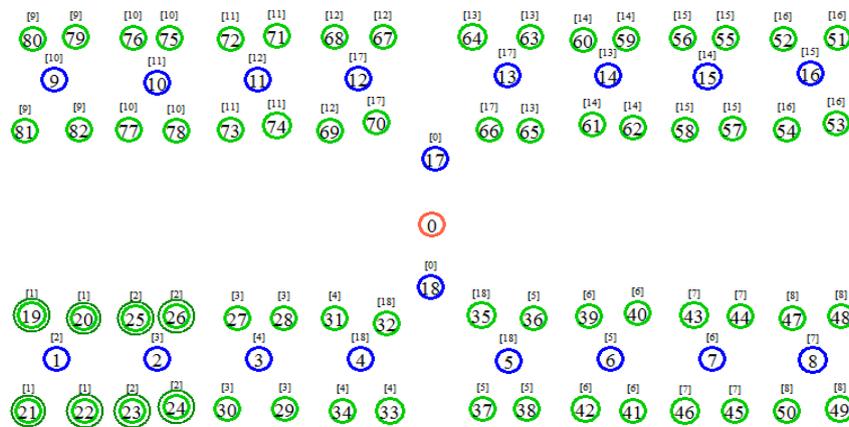
اخُتبرت الشبكة في حالتين:

الحالة التي تكون فيها جميع الحساسات قادرة على التحويل، ويتم تحويل البيانات باستخدام البروتوكول AODV. والحالة الثانية حيث يكون قسم من الحساسات مكتملة الوظائف FFD قادرة على تحويل البيانات وتعمل كعمود فقري

في الشبكة. وحساسات اخرى منقوصة الوظائف RFD تقوم بمهمة التحسس أو التشغيل ولا تقوم بتحويل البيانات، ويتم تحويل البيانات باستخدام بروتوكول التحويل الهرمي ZBR، ومن أجل تقليل التداخل في الشبكة ولزيادة معدل تسليم البيانات قمنا بجعل مجال الإرسال لنوعي الحساسات مختلفين، حيث يكون مجال الإرسال للحساسات مكتملة الوظائف 25m، وللحساسات منقوصة الوظائف 15m، ويبين الشكل التالي بنية الشبكة المستخدمة.



الشكل (1) بنية شبكة الحساسات اللاسلكية قبل عملية الارتباط



الشكل (2) بنية شبكة الحساسات اللاسلكية بعد اتمام عملية الارتباط

حيث تمثل الحساسات المتوضعة في مركز البيوت البلاستيكية الحساسات إضافةً إلى الحساسات (0,17,18) حساسات مكتملة الوظائف FFD، والحساسات المتبقية في كل بيت بلاستيكي الحساسات منقوصة الوظائف RFD، ترسل الحساسات منقوصة الوظائف بياناتها باستمرار إلى منسق الشبكة (PAN Coordinator or Sink) ذو الرقم 0 والذي يتوضع في منتصف الشبكة بمعدل إرسال ثابت CBR. پارامترات العمل:

تم اختيار عدد الأبناء المسموح لكل حساس مكتمل الوظائف والعمق الأعظمي في الشبكة بحيث تتمكن جميع الحساسات من الارتباط، حيث تعمل الحساسات في المجال الترددي 2.4GHz بمعدل نقل 240 kbps [20].

الجدول (1) بارامترات العمل العامة للشبكة

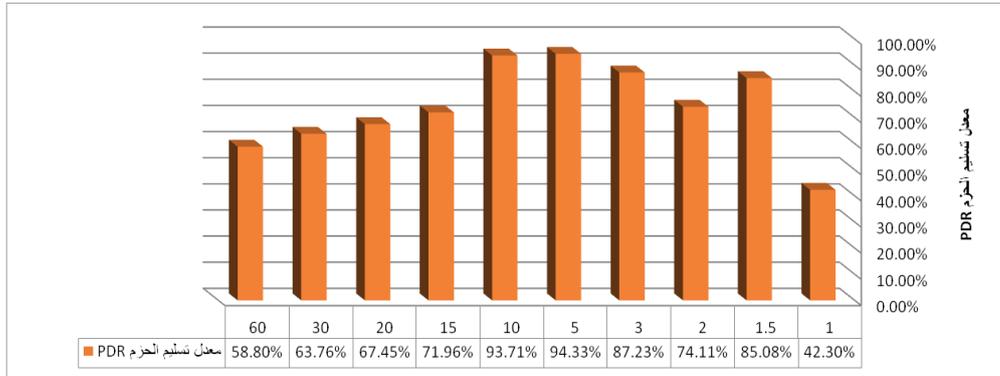
بروتوكول مشاركة وسط النقل	IEEE802.15.4	المجال الترددي	2.4 جيجا هرتز
العمق الأعظمي	6	حجم الحزمة	30 بايت
عدد الأبناء المسموح	8	ترتيب الإرشاد SO	6
ترتيب الإطار الفائق BO	6	حجم المكس	50
زمن المحاكاة	300 ثانية	بروتوكول التحويل	بروتوكول التحويل AODV بروتوكول التحويل الهرمي ZBR

النتائج والمناقشة:

1. مقارنة معدل تسليم الحزم

سنقوم بدراسة تأثير الفاصل الزمني بين ارساليين متتاليين للحساسات على أداء الشبكة عند استخدام البروتوكولين AODV, ZBR.

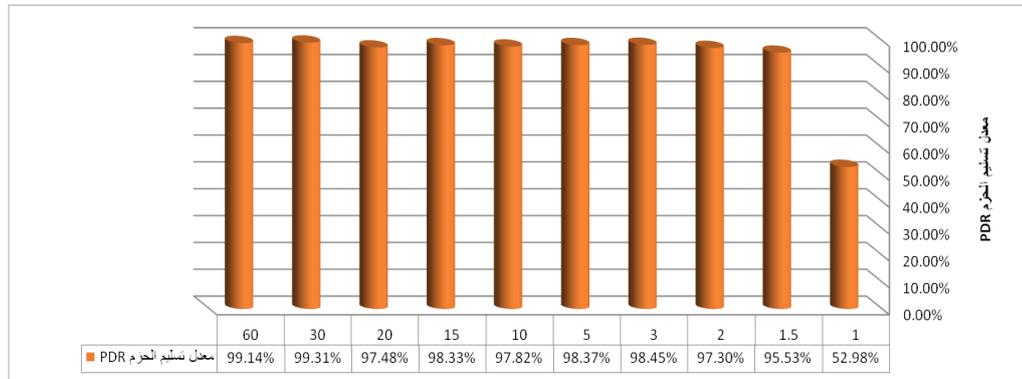
1.1 1 بروتوكول التحويل AODV:



الشكل (3) معدل تسليم الحزم بالنسبة للفاصل الزمني بين ارساليين متتاليين للحساسات عند استخدام AODV

نلاحظ أن أفضل معدل نقل يمكن إنجازه عندما يكون الفاصل بين ارساليين متتاليين 5-10 ثانية، ونلاحظ أيضاً أنه مع زيادة الزمن بين ارساليين يتحسن معدل الإرسال لكنه يتراجع نسبياً بعد حد معين والسبب يعود إلى طبيعة عمل البروتوكول AODV وآلية البحث عن مسار جديد عند زيادة زمن الإرسال.

1.2 بروتوكول التحويل الهرمي ZBR:



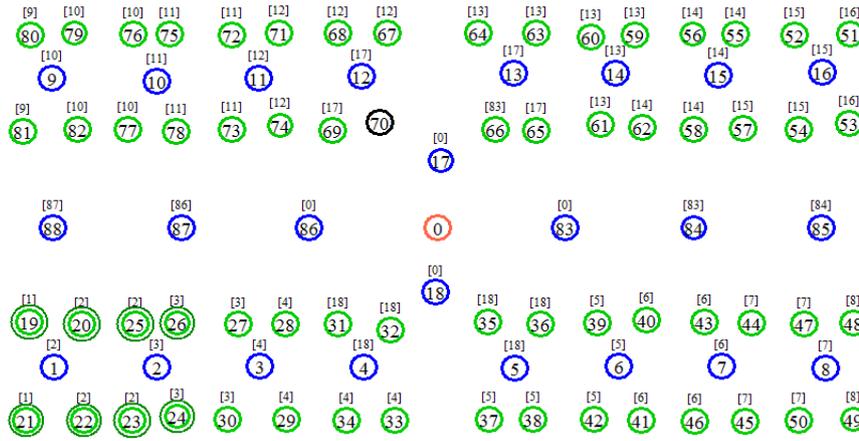
الشكل (4) معدل تسليم الحزم بالنسبة للفاصل الزمني بين ارساليين متتاليين للحساسات عند استخدام التحويل الهرمي

نلاحظ أن معدل تسليم الحزم يتجاوز 95% عندما يكون الفارق الزمني بين كل حزميتين متتاليتين من نفس الحساس أكبر من 1 ثانية.

بروتوكول التحويل الهرمي في الشبكة المقترحة يبدي أداء أفضل بكثير من بروتوكول التحويل AODV وفق تصميم الشبكة المعتمد، حيث يؤمن معدل نقل أعلى وزمن تأخير أقل وتأرجح أقل وأكثر ثباتاً، وذلك لان بروتوكول التحويل الهرمي يتبع أقصر المسارات (ابن-اب) حتى الوصول الى منسق المجموعة، بينما يمكن ان يستخدم البروتوكول AODV مسارات بديلة ولكن بنية الشبكة لا تمكنه من إيجاد مسارات أقصر، كما ان البروتوكول AODV يستخدم عمليات الارسل الجماعي لاستكشاف المسارات، مما يؤثر على معدل تسليم الحزم في الشبكة. الغاية من المقارنة بين البروتوكولين هي اقتراح البروتوكول اللازم استخدامه في البنية اللاسلكية في الشبكة الهجينة المقترحة للحصول على الأداء الأمثل.

2. معالجة حالة إخفاق الحساسات والمناعة من الخطأ:

تعاني الشبكة السابقة من مشكلة أساسية تتمثل في ان إخفاق أي من الحساسات المكتملة الوظائف يؤدي الى فصل جميع الحساسات المرتبطة بها بشكل مباشر أو غير مباشر عن الشبكة، وفي حال إخفاق الحساسات القريبة من منسق الشبكة يتم قطع اتصال عدد كبير من الحساسات وعدم تمكنها من إرسال بياناتها لعدم تواجد حساسات تؤمن مسارات بديلة لذلك ولزيادة متاحة الشبكة ومناعتها لإخفاق الحساسات، سنقوم بإضافة بعض الحساسات مكتملة الوظائف الى الشبكة (83،84،85،86،87،88)، ونزيد مدى الارسل للحساسات بحيث يصبح 25 متر للحساسات الطرفية منقوصة الوظائف و35 متر للحساسات مكتملة الوظائف

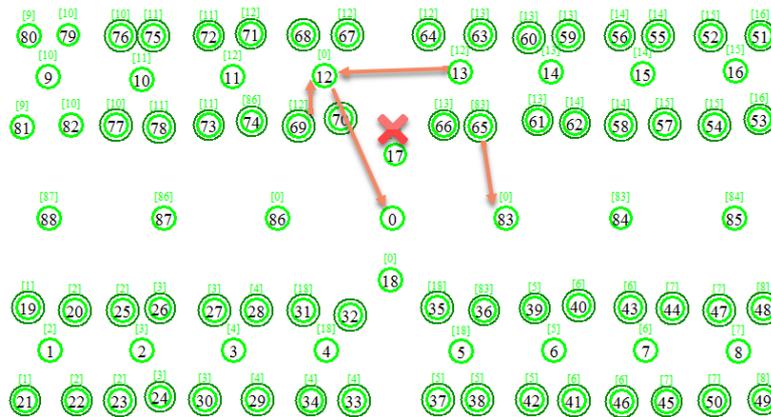


الشكل (5) بنية الشبكة المعدلة

وفق البنية الحالية سوف يقع كل حساس منقوص الوظائف تحت نطاق تغطيه حساسان مكتملي الوظائف على الأقل وبذلك يتوفر مسارات بديلة لعمل البروتوكولات التي يمكنها توجيه البيانات وفق أكثر من مسار كبروتوكول AODV، ويتوفر حساسات إضافية كي تقوم الحساسات منقوصة الوظائف بالارتباط بها عند تعطل أو اخفاق الحساس الأب.

3. اختبار مناعة الشبكة عند تعطل بعض الحساسات الرئيسية:

ان اخفاق الحساس رقم 17 أو الحساس رقم 18 سيؤدي الى عدم تمكن نصف الحساسات في الشبكة من ارسال بياناتها عند استخدام بنية الشبكة الأساسية، أما في البنية المعدلة فستجد الحساسات مسارا بديلا عند تعطل هذه الحساسات الرئيسية في عملية توجيه البيانات وتستمر الشبكة بالعمل في التجربة التالية قمنا بتعطيل الحساس رقم 17 ضمن الفترة الزمنية الممتدة من 100 الى 150 ثانية، يبين الشكل التالي كيف تمكن الحساسان رقم 13 ورقم 12 المرتبطين مباشرة بهذا الحساس من إعادة تشكيل الارتباط لمتابعة عمل الشبكة، ويظهر الشكل (6) توزيع ارتباط الحساسات في فترة تعطل الحساس رقم 17.

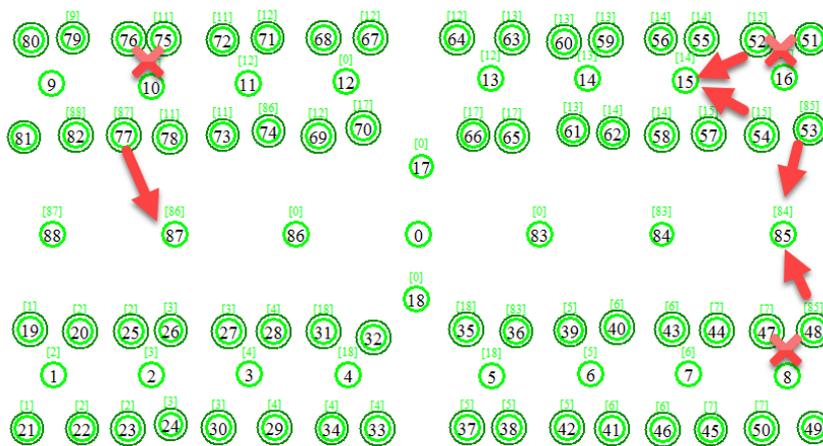


الشكل (6) إعادة تشكيل ارتباط الشبكة عند تعطل الحساس رقم 17

نلاحظ من الشكل السابق كيف قام الحساس رقم 13 المرتبط أساساً بالحساس رقم 17 من إعادة ارتباطه بحيث شكل ارتباط جديد مع الحساس رقم 12، وأيضاً الحساس رقم 12 المرتبط أساساً بالحساس رقم 17 شكل ارتباط جديد مع منسق الشبكة الرئيسي، وكذلك الحال بالنسبة للحساسات رقم 65 الذي استفاد من الحساسات المضافة لإرسال بياناته عبر الحساس 83 الى منسق الشبكة الرئيسي، وأيضاً الحساس رقم 69 قام بإعادة ارتباطه في الشبكة.

1.3 اختبار الشبكة عند تعطل الحساسات رقم (8،16،10):

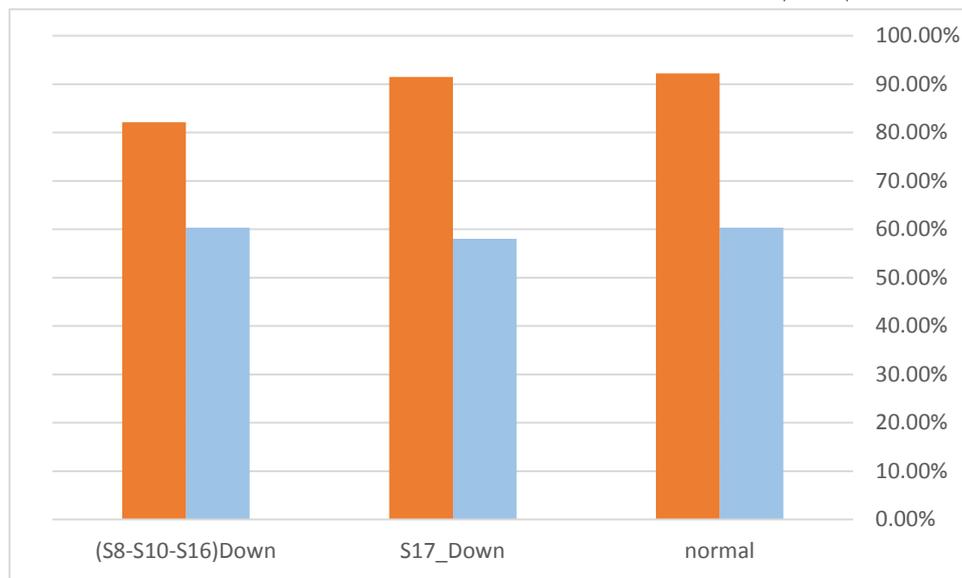
رقم الحساس	8	10	16
وقت الاخفاق	100	130	170



الشكل (7) إعادة تشكيل ارتباط الشبكة عند تعطل الحساسات رقم (8،16،10)

نلاحظ أيضاً من الشكل السابق كيف تم إعادة عمليات الارتباط في الشبكة لتأمين سير دفق البيانات باتجاه منسق الشبكة الرئيسي، مع الاستفادة بشكل جيد من الحساسات المضافة الى الشبكة

3.2 مقارنة معدل تسليم الحزم عند تعطل الحساسات

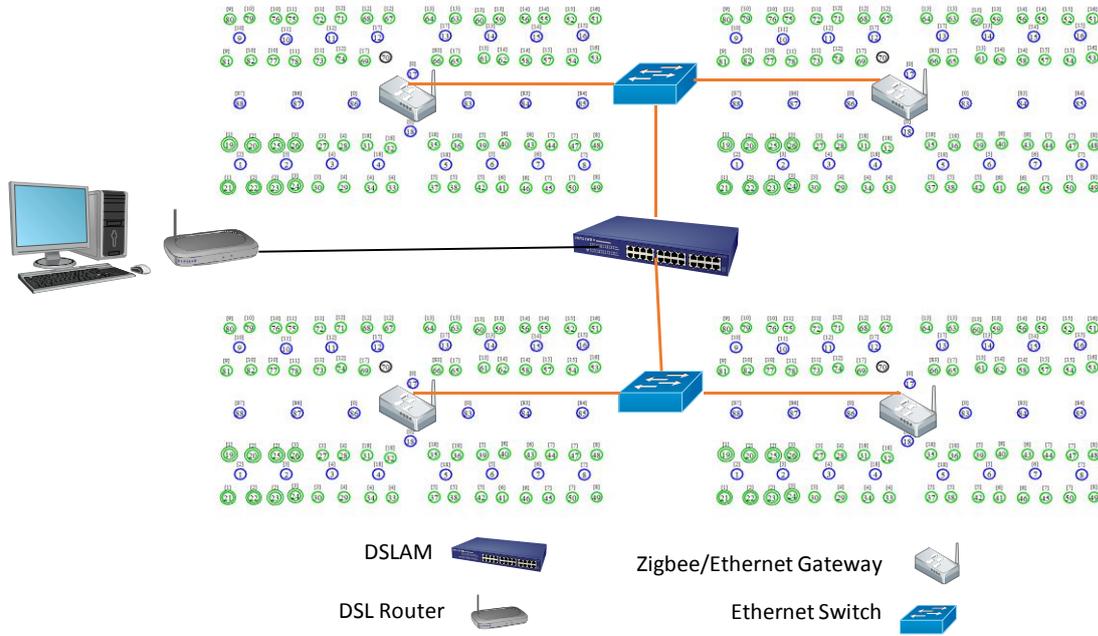


الشكل (8) مقارنة معدل تسليم الحزم للبروتوكولين (ZBR.AODV)

نلاحظ انه في الحالة العادية حيث تعمل جميع الحساسات بدون أعطال فان بروتوكول التحويل الهرمي يؤمن معدل ارسال مرتفع "أكثر من 90%" بينما يحقق بروتوكول التوجيه الهرمي معدل نقل أقل "حوالي 60%"، لكن البروتوكول AODV يحافظ على قيم متقاربة لمعدل تسليم الحزم عند اخفاق الحساسات، بينما ينخفض معدل تسليم الحزم حوالي (10%) عند استخدام بروتوكول التوجيه الهرمي مع اخفاق الحساسات ذوات الأرقام (8-10-16). وبالرغم من أن بروتوكول التوجيه الهرمي يبدي زيادة في فقد البيانات عند اخفاق بعض الحساسات في الشبكة الا انه يحافظ على زمن تأخير اقل من بروتوكول التوجيه الهرمي ومعدل نقل أعلى.

اقتراح بنية الشبكة الهجينة Ethernet/802.15.4 لإيصال بيانات الحساسات إلى مركز المراقبة:

تعد تقنية Zigbee وتقنية 6LowPan من أهم التقنيات التي تعتمد على المعيار IEEE802.15.4 في الطبقتين الأولى والثانية، ونظرا لأهمية استخدام الإصدار السادس من بروتوكول الانترنت IPv6 فان تقني Zigbee IP "كما ذكرنا سابقا" ضمنت تقنية 6LowPan في اصداراتها الحديثة ضمن طبقة الشبكة، وبناء عليه قمنا باقتراح البنية التالية للشبكة الهجينة:



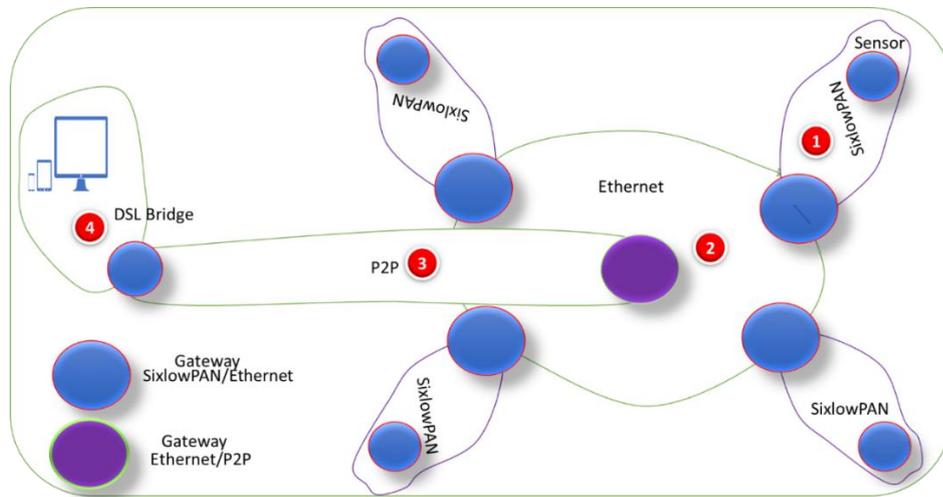
الشكل (9) بنية الشبكة الهجينة Zigbee/Ethernet

عملنا بداية على تأمين بنية مناسبة لإيصال بيانات الحساسات عبر تقنية Zigbee إلى منسق الشبكة الرئيسية، والذي يعمل كوابه تصل شبكة Zigbee في كل شبكة فرعية مع شبكة الإنترنت، وقمنا باستخدام DSLAM مع موجه DSL من أجل إيصال البيانات إلى مركز المراقبة والذي يحتمل ان يكون بعيدا عن مكان الشبكة الرئيسي، والربط بينهما يكون سلكيا عن طريق كبل الهاتف، لأن الوصلة السلكية أكثر موثوقية وأقل تعرض للعوامل الجوية من الوصلة اللاسلكية، وبذلك نكون قد أمنا بنية أكثر وثوقيه لإيصال البيانات إلى مركز المراقبة.

تصميم كامل الشبكة مع البوابات:

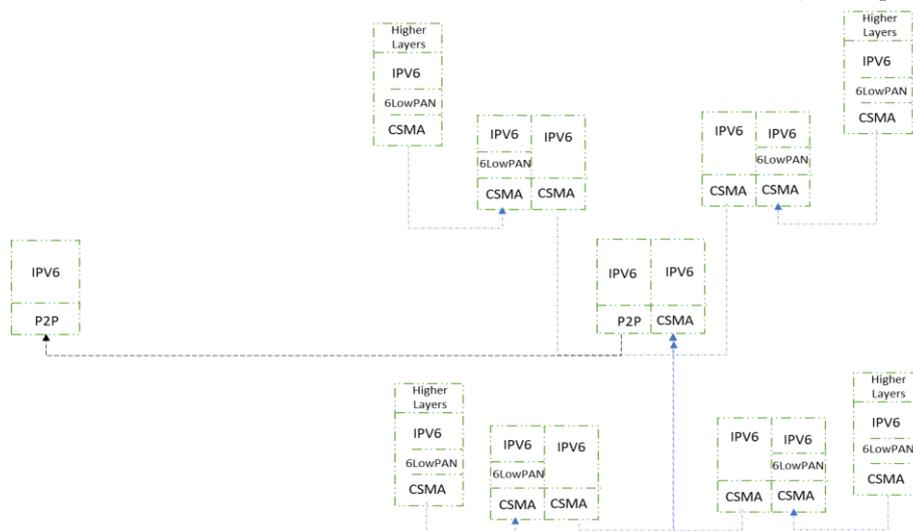
ذكرنا سابقا ان شبكة الحساسات اللاسلكية المعتمدة على المعيار IEEE802.15.4 يمكنها العمل مع العناوين القصيرة / 16 بت / وأيضا مع العناوين الطويلة / 128 بت /، ولتمكين شبكة الحساسات من المشاركة بشبكة انترنت الأشياء، يمكننا اسناد عناوين IPV6 لكل حساس، أو اسناد العناوين القصيرة للحساسات الفرعية واسناد عناوين IPV6 لمنسق الشبكات الرئيسية فقط، بالنسبة للطبقات الأعلى يمكننا استخدام تقنية Zigbee أو تقنية 6LowPAN حيث كلتا التقنيتين تعتمدان على المعيار IEEE802.15.4 .

ووفق التصميم المقترح سنستخدم تقنية 6LowPAN، في تصميم البوابات التي تربط الحساسات بشبكة الإيثرنيت Ethernet/P2P Gateway، وسنقوم باستخدام بوابة Ethernet/P2P Gateway لوصل الحزم القادمة من شبكة الحساسات عبر شبكة الإيثرنيت الى مركز المراقبة ويبين الشكل التالي أنواع الشبكات المستخدمة في الشبكة المقترحة



الشكل (10) أنواع الشبكات المستخدمة في الشبكة المقترحة

ويبين الشكل التالي تصميم البنية التطبيقية للبوابات المستخدمة



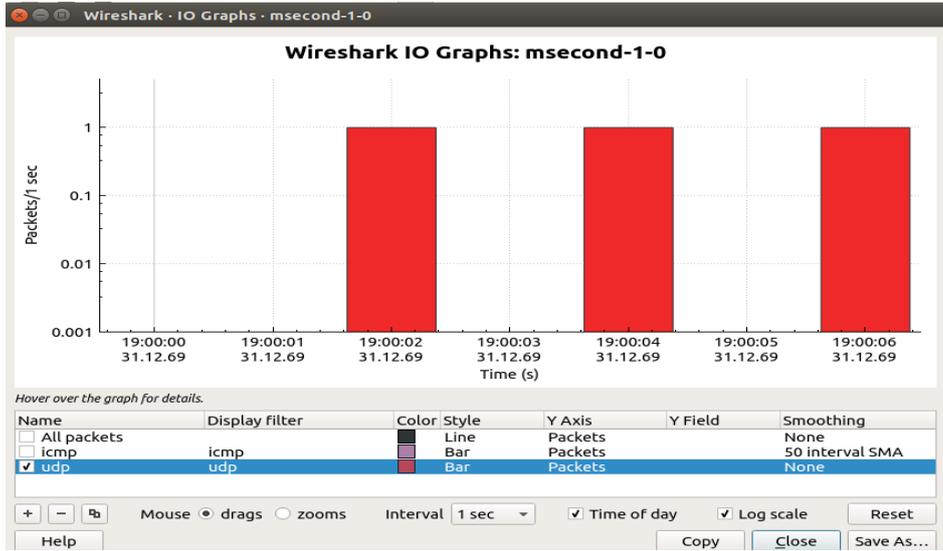
الشكل (11) البنية التطبيقية للبوابات المستخدمة

تم اختبار ارسال البيانات من الحساس عبر بوابة 6LowPAN/Ethernet وتم استقبال الحزم الثلاثة في مركز المراقبة وبظهر الشكلين التاليين نجاح عملية اوصول الحزم الى هدفها، وتم الحصول على النتائج باستخدام برنامج Wireshark

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	::	ff02::1	ICMPv6	74	Neighbor Solicitation
2	0.000882	::	ff02::1	ICMPv6	74	Neighbor Solicitation
3	0.005882	::	ff02::1	ICMPv6	74	Neighbor Solicitation
4	0.007000	::	ff02::1	ICMPv6	74	Neighbor Solicitation
5	0.998882	fe80::200:ff:fe00:2	ff02::2	ICMPv6	58	Router Solicitation
6	1.003974	fe80::200:ff:fe00:1	ff02::2	ICMPv6	58	Router Solicitation
7	2.037044	2001:1::200:ff:fe00:9	2001:3::200:ff:fe00:1	UDP	150	49153 → 9 Len=100
8	4.007710	2001:1::200:ff:fe00:9	2001:3::200:ff:fe00:1	UDP	150	49153 → 9 Len=100
9	6.007856	2001:1::200:ff:fe00:9	2001:3::200:ff:fe00:1	UDP	150	49153 → 9 Len=100

Frame 7: 150 bytes on wire (1200 bits), 150 bytes captured (1200 bits) on interface
 Point-to-Point Protocol
 Internet Protocol Version 6, Src: 2001:1::200:ff:fe00:9, Dst: 2001:3::200:ff:fe00:1
 User Datagram Protocol, Src Port: 49153, Dst Port: 9
 Source Port: 49153
 Destination Port: 9

الشكل (12) ارسال الحزم زمنيا في الشبكة



الشكل (13) نجاح ارسال الحزم الى مركز المراقبة

الاستنتاجات والتوصيات:

- نلاحظ أن بروتوكول التوجيه الهرمي ZBR يبدي أداء أفضل بشكل عام من البروتوكول AODV وفق البنية المقترحة، ولكنه أكثر تأثراً بإخفاق الحساسات في الشبكة، حيث سيتم فقد الحزم المرسله ريثما يتم إعادة تشكيل الشبكة وإعادة ارتباط الحساسات
- نلاحظ أيضاً أن الشبكة المقترحة بعد التعديل تشكل بيئة مناسبة لضمان استمرارية الشبكة بالعمل عند اخفاق بعض الحساسات. حيث تساعد بروتوكولات التوجيه المستخدمة في إيجاد عقد او مسارات بديلة.
- البنية المقترحة للشبكة الهجينة تؤمن وثوقه اعلى لإرسال البيانات الى مركز المراقبة البعيد باستخدام وصلة الهاتف السلكية

- استخدام IPV6 يمكننا من دخول عالم انترنت الأشياء والوصول الى الحساسات من أي مكان.
- نتطلع مستقبلاً الى تحسين أداء بروتوكول التوجيه الهرمي لتقديم معدل نقل أفضل أثناء اخفاق بعض الحساسات ضمن مسار التوجيه في الشبكة، كما نتطلع أيضاً الى توفير قسط إضافي من الطاقة المصروفة في الشبكة عن طريق القيام بضبط الحساسات الطرفية بإرسال البيانات الى الحساسات الاباء بدل ارسالها في كل مرة الى منسق الشبكة، بحيث تقوم الحساسات الاباء بتجميع البيانات وارسال الحزم الى منسق الشبكة الرئيسي فقط في حال تجاوز الفرق بين القيمة المتوسطة المقاسة والقيمة السابقة عتبة محددة. لتقليل عدد عمليات الارسال في الشبكة قدر الإمكان. كما نتطلع الى تصميم بوابات تقوم برط شبكة الحساسات بأنواع مختلفة من الشبكات.

References:

1. Krzysztof S. Berezowski; The Landscape of Wireless Sensing in Greenhouse Monitoring and Control; International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN) Vol. 4, No. 4, August 2012.
2. S.U. Zagade, R.S. Kawitkar; Wireless Sensor Network for Greenhouse; International Journal of Science and Technology; Volume 2 No.3, March 2012.
3. Manijeh Keshtgari, Amene Deljoo; A Wireless Sensor Network Solution for Precision Agriculture Based on ZigBee Technology; Wireless Sensor Network Journal, 2012, 4, 25-30.
4. M.V. Vijaya Saradhi et al; Development of a Low-Cost ZIGBEE and GSM SMS-Based Conductor Temperature and Sag Monitoring System; International Journal of Engineering Science and Technology Vol. 2(4), 2010, 372-381.
5. W. Yuan, X. Wang, J. P. M. G. Linnartz and I. G. M. M. Niemegeers Coexistence Performance of IEEE 802.15.4 Wireless Sensor Networks under IEEE 802.11b/g Interference. Spring Journal Wireless Personal Communication, 2011.
6. R.Narmatha, C.K.Nithya, G.Ranjitha, M.Kalaiyarasi; A Hybrid Network for Automatic Greenhouse Management; International Journal of Advancements in Research & Technology, Volume 2, Issue3, March-2013.
7. Zhang Lihong, Sun Lei, Han Shufen, Lu Weina; Measurement and Control System of Soil Moisture of Large Greenhouse Group Based on Double CAN Bus, Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), 2011, Vol. 2, 2011, pp. 518 – 521.
8. Jaime Ortégón Aguilar et al; Wireless Data Acquisition System for Greenhouses; Emerging Technologies in Wireless Ad-hoc Networks; 2011.
9. Introduction To Ethernet /Ethernet for Control – Understanding the Basics; The EXTENSION A Technical Supplement to control NETWORK, volume 1, issue 3, Fall 1999.
10. Zigbee Alliance, <http://www.zigbee.org>. VISITED AT 1/6/2017.
11. Ergen,S,C. "ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary". September 10, 2004.
12. Chonggang Wang, Tao Jiang, Qian Zhang “ZigBee® Network Protocols and Applications”.
13. Anshul agarwal, Mukesh Agarwal, Manju Vyas and Richa Sharma "A STUDY OF ZIGBEE TECHNOLOGY" International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication. Issue: 4,(Vol.1, APR 2013) ,pp 287 – 292.
14. Tomar, A." Introduction to ZibgBee Technology ". Global Technology Centre, Vol1, July 2011.
- 15.FRANCESCHINIS, M; PASTRONE, C; SPIRITO, M. A; BOREAN, C. *On the performance of ZigBee Pro and ZigBee IP in IEEE 802.15. 4 networks*. In 2013 IEEE 9th

International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), (2013, October), (pp. 83-88).

16. THOMBRE, S; ISLAM, R. U; ANDERSSON, K; HOSSAIN, M. S. *IP based wireless sensor networks: performance analysis using simulations and experiments*. Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications, 7(3), 2016, 53-76.

17. Jamal Khalifa, "Improving the performance of the low-speed hybrid data transmission network used in facilities operating in near-real time" Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series, Vol. 62-41, 2215, September 2, Issue 37.

18. Joe Hoffat, Kevin Klues, Obi Orjih; Configuring the IEEE 802.15.4 MAC layer for single sink wireless sensor network applications; Washington University, St. Louis, Missouri, 2005.

19. M.Kasraoui, A.Cabani, J.Mouzna; ZBR-M: A New ZigBee Routing Protocol; International Journal of Computer Science and Applications Vol. 10, No. 2, pp. 15 – 32, 2013.

20. H. Kaur, A. P. Bhondekar; "Routing Protocols in Zigbee Based networks: A Survey"; Int. Journal of Electrical & Electronics Engg. Vol. 2, Spl. Issue 1 (2015).

21. "Introduction to Network Simulator NS2"; TeerawatIssariyakul , EkramHossain; 2009 Springer.

22. IEEE Std. 802.15.4, 2003; "Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LRWPANs)". Approved 12 May 2003.

23. Rajeev R, Ketu Patel, Bharath K P, Sanjeeth B I, Mahesh Dali; "Implementation of Iot in Monitoring and Control of Agricultural Activities"; International Journal of Engineering Research & Technology, Vol. 4 Issue 07, July-2015.

24. P. J. Sousa, R. Tavares, P. Abreu and M. T. Restivo; "NSensor – Wireless Sensor Network for Environmental Monitoring"; University of Porto, Porto, Portugal, Vol. 11, No. 5, 2017.

25. D. Baghyalakshmi, S. Kothari, J. Ebenezer and S. A. V. SatyaMurty; "Ethernet ateway for wireless sensor networks"; *Twelfth International Conference on Wireless and Optical Communications Networks (WOCN)*, Bangalore, 2015, pp. 1-5.