

مراقبة مزارع البيوت البلاستيكية والتحكم بها باستخدام شبكات الحساسات والمشغلات اللاسلكية المعتمدة على تقنية ZigBee

الدكتور جمال خليفة*

(تاريخ الإيداع 3 / 11 / 2014. قُبل للنشر في 23 / 12 / 2014)

□ ملخص □

يشكل استخدام شبكات الحساسات اللاسلكية في مراقبة الزراعات المحمية، والتحكم بها، واحداً من المجالات التي لاقت رواجاً واسعاً في الآونة الأخيرة، لما تقدمه هذه الشبكات من خدمات، وتسهيلات، ووثوقية على مستوى المراقبة والتحكم.

يسهم هذا البحث في دراسة تطبيق هذه التقنية على البيوت البلاستيكية المنتشرة في بلدنا، وعلى مساحات واسعة. ويقدم حلولاً لعمل شبكات المراقبة والتحكم الخاصة بذلك في الزمن الحقيقي، وبما يضمن أداء جيداً وفقاً لمعايير تقييم أساسية، مثل تخفيض التأخير الزمني، وزيادة في النفاذية، وزيادة نسبة تسليم الرزم، وتخفيض عدد الرزم المفقودة، مع زيادة حمل الشبكة.

وضع من أجل ذلك عدد من السيناريوهات التي تماثل واقع بناء وتشغيل البيوت البلاستيكية في منطقتنا، اعتماداً على تقنية ZigBee. وقد تم اختبار سيناريوهات عمل شبكات الحساسات اللاسلكية، باستخدام المحاكاة، بما يسمح باستنتاج التوصيات للاسترشاد بها حين العمل على تركيب مثل هذه الشبكات في أماكنها لتعمل بالشكل الأفضل، وذلك من أجل مساحات مختلفة وعدد كبير من الصالات.

الكلمات المفتاحية: شبكات الحساسات اللاسلكية، النفاذية، التأخير الزمني، نسبة التسليم، فقدان الرزم ، ZigBee.

* أستاذ مساعد - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - سورية

Greenhouse Farms Control & Monitoring Using ZigBee Based Wireless Sensors & Actuators Networks

Dr. Jamal Khalifeh*

(Received 3 / 11 / 2014. Accepted 23 / 12 / 2014)

□ ABSTRACT □

The use of wireless sensor networks to monitor and control the precise agriculture is one of the areas which received broad concern in recent times, for the services, facilities and the reliability provided by these networks on the monitoring and control level.

This research contributes to the study of the application of this technique in greenhouses deployed over large areas in our country. It offers solutions for networks of monitoring and control, in real time, and ensures a good performance according to the essential evaluating criteria, such as reducing the time-delay, and increases throughput, increases the delivery ratio of packets, and reduces the number of packets lost along with increased network load.

In order to do that, a number of scenarios are proposed. These scenarios are similar to the reality of the construction and operation of the greenhouses in our region relying on ZigBee technique. Wireless sensors networks of these scenarios have been tested, using simulation in order to make conclusion and recommendations to guide the work while installing such networks in place to work as their best for different areas and a large number of lounges.

Keywords: Wireless Sensor Networks; Throughput; Time Delay; Delivery Ratio; Packet lose; ZigBee.

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

مقدمة:

يعتمد إنتاج المحاصيل الزراعية في جزء كبير منه على الزراعات المحمية بشكل عام وعلى البيوت البلاستيكية بشكل خاص. ويعتمد إنتاج هذه المنشآت بشكل أساس على مراقبة البارامترات الخاصة بالظروف المناسبة لزراعة ونمو النباتات والتحكم بها بما يؤمن محصولاً وفيراً وجيداً حتى خارج زمن مواسمها المعتادة. ومن هذه البارامترات درجة الحرارة المحيطة ونسبة الرطوبة ونسبة غاز ثاني أكسيد الكربون وشدة الإضاءة وغيرها.

اعتمد المزارعون حتى وقت قريب على قياس هذه البارامترات ومراقبتها إما يدوياً أو باستخدام شبكات مراقبة وتحكم سلكية، أو سلكية لاسلكية مختلطة يتولى الجزء اللاسلكي نقل المعطيات من مجتمعاتها إلى مركز المراقبة، الذي يختلف في حجمه وإمكاناته باختلاف المالك واختلاف مساحة البيوت البلاستيكية. ازداد الاهتمام بالاعتماد على الشبكات اللاسلكية منذ العام 2006 بشكل أساس، حيث ازداد عدد الأبحاث المنشورة التي تهتم بتطبيق الحساسات اللاسلكية في البيوت البلاستيكية بشكل مضطرب منذ عام 2006 [1]. وتشير الدراسات والأبحاث إلى نجاح تجربة الاعتماد على التقنيات اللاسلكية بشكل عام في مراقبة البيوت البلاستيكية وفي التحكم بها [2].

ومن بين التقنيات اللاسلكية المعتمدة في مراقبة البيوت البلاستيكية والتحكم بها تعتبر التقنيات المعتمدة على ZigBee أنسبها من حيث بساطتها وسهولة تطبيقها، ورخص تكاليفها، وملائمة معدلاتها، واستهلاكها المنخفض للطاقة [1,2]. إذ يعتبر 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].

إن استخدام تقنية ZigBee في البيوت البلاستيكية المنتشرة على مساحات واسعة، وتقسيم هذه المساحات إلى مساحات أصغر، وتخصيص كل مساحة ببيت بلاستيكي واحد، وبحيث تكون هذه البيوت متلاصقة أو متباعدة، يعتبر تحدياً أمام استخدام هذه التقنية، وذلك لضرورة مراعاة الكثير من بارامترات شبكة نقل المعطيات مثل التأخير الزمني للزمن Packet time delay ومن ثم الاستجابة في الزمن الحقيقي Real time response، وكذلك النفاذية Throughput وعدد أو نسبة وحدات المعطيات الضائعة إلى وحدات المعطيات التي يتم إرسالها، ومعدل نقل المعطيات المناسب، كل هذا إضافة إلى إمكانية التوسع.

أهمية البحث وأهدافه:

يزداد الاعتماد على شبكات الحساسات اللاسلكية في مراقبة الزراعات المحمية والتحكم بالمشغلات التي تؤمن لها النمو في الظروف المناسبة مثل مشغلات صمامات الري ومشغلات تسخين الهواء وتكييفه وغير ذلك. كما تطرح في الأسواق بشكل مستمر المكونات الصلبة والبرمجية لشبكات الحساسات اللاسلكية لهذا الغرض. يتم تجريب هذه المكونات على مستوى المساحات الصغيرة التي لا تحتاج إلى أعداد كبيرة من الحساسات والمشغلات على اختلاف أنواعها. أما على مستوى المساحات الكبيرة فإن تجريب هذه المكونات يصبح مكلفاً للغاية ويحتاج إلى فترات زمنية كبيرة للقيام بذلك. وتكمن أهمية هذا البحث في أنه يقدم محاكاة لشبكات الحساسات اللاسلكية على مستوى الشبكات الصغيرة وعلى مستوى الشبكات الكبيرة بما يؤمن استخلاص التوصيات للاسترشاد بها حين العمل على تركيب مثل هذه الشبكات في أماكنها لتعمل بالشكل الأفضل.

يهدف هذا البحث إلى اختبار بنية شبكات الحساسات اللاسلكية القائمة على استخدام تقنية ال ZigBee والتي تتناسب إنجاز مهمة المراقبة والتحكم بالبيوت البلاستيكية باختلاف مساحة وعدد هذه البيوت واقتراح البنى المناسبة لعمل

هذه الشبكات وذلك مع تغير المساحة المزروعة وعدد البيوت البلاستيكية المستخدمة وذلك باستخدام المحاكاة المعتمدة على المحاكى الشبكي NS-2.

طرائق البحث ومواده:

يعتمد البحث على إنشاء سيناريوهات مناسبة لنماذج شبكية محددة وإجراء المحاكاة في ظروف عمل مشابهة لعمل الشبكة بما يؤمن نقل معطيات عقد هذه الشبكة إلى نقطة النفاذ الرئيسة مع دراسة تأثير مجموعة من المعايير التي تؤثر في عمل الشبكة ككل. وعلى وجه التحديد تأثير حجم الشبكة وبنيتها على التأخير الزمني ومعدل فقدان الرزم، ومعدل الإرسال، والحمل الصافي. ويمكن صياغة طريقة البحث بالخطوات الآتية:

- دراسة موقع البحث ضمن الأبحاث التي تعنى بحل نفس المشكلة أو المشاكل المشابهة.
- اختيار السيناريوهات المناسبة لعمل الشبكة انطلاقاً من واقع عمل البيوت البلاستيكية محلياً.
- وضع وتشغيل نموذج المحاكاة لكل سيناريو اعتماداً على المحاكى الشبكي NS-2.
- استخلاص النتائج وتوصيات التشغيل بالنسبة لكل سيناريو وفقاً للمعايير المطلوبة.

4- علاقة البحث بالأبحاث ذات الصلة بالموضوع المطروح:

سعت الكثير من الأبحاث إلى توسيع شبكات المراقبة والتحكم بالبيوت البلاستيكية من خلال اعتماد تقنيات هجينة بين ZigBee وتقنية أخرى تؤمن جمع المعطيات من الأجزاء المعتمدة على تقنية ZigBee. وذلك بما يجعل مساحة التغطية لشبكات التحكم أكثر اتساعاً. فقد اعتمد البحث [4] على استخدام GSM مع تقنية ZigBee لتغطية المساحات الواسعة وربط شبكات الحساسات والمشغلات اللاسلكية مركزياً وقد سعى البحث إلى تأمين طريقة مراقبة واسعة ورخيصة الكلفة للبيوت البلاستيكية ولكنه عانى من تعقيد استخدام بوابة ZigBee/GSM كما يعاني بشكل أقل من توفير التغطية الدائمة والمناسبة لمناطق الزراعة بشبكة GSM.

بينما اعتمد [5] على تقنية WiFi مع استخدام تقنية ZigBee لتأمين وصل الشبكات المعنية بالمجمع المركزي. وبسبب الاستخدام الهجين لشبكتي WiFi و ZigBee فإن كلفة التجهيز والمراقبة ترتفع كثيراً وتصبح هذه الشبكة غير مبررة اقتصادياً إلا من أجل شبكات تغطي مناطق زراعة واسعة جداً كما أن استخدام التقنيتين يفرض تعقيدات استخدام بوابات عبور ZigBee /WiFi.

تطلب استخدام شبكة هجينة من ZigBee و CAN كما في البحث [6] فصل الشبكة إلى مستويين تم في المستوى الأدنى منه توصيل عقد التحسس اللاسلكية باستخدام تقنية ZigBee بينما صمم المستوى الثاني ليقوم بنقل معطيات مجمعات شبكات ZigBee إضافة إلى معطيات التشغيل للعقد التي تعمل كمشغلات. وتكمن سيئة هذا الحل في صعوبة تصميم بوابة العبور ZigBee/CAN وصعوبة ملائمة معدلات الإرسال بين مستويات الشبكة وهذا يؤثر بشكل عام على أداء الشبكة ككل. هذا إضافة إلى أن استخدام CAN كعمود فقري يجعل هذه الطريقة على الرغم من تعقيداتها مناسبة للمساحات التي لا تزيد عن 500×500 م² لأن معدلات نقل بروتوكول CAN تصبح عديمة الجدوى لمساحات محكومة بأكبر من هذه الأبعاد.

تم تحسين تصميم الشبكة في [7] اعتماداً على استخدام شبكة هجينة من ZigBee و CAN ولكن تم تصميم الجزء المعتمد على CAN ليشكل ناقلاً خطياً مضاعفاً يعمل في الاتجاهين لتجنب بعض الاختناقات التي تحصل

بسبب الوصل الهجين ZigBee/CAN . ولكنها وعلى الرغم من تحسين المساحة المغطاة قليلاً إلا أنها مازالت تعاني بشكل أساس من نفس ما تعانیه سابقته ولو بشكل أقل نسبياً.

استخدم [8] عقدة محمولة على جسم متحرك آلياً للتنقل بين المساحات وجمع المعطيات من عقد شبكة ZigBee. إلا أن تحديد مسارات العقدة المتحركة وضرورة تعديل بارامترات التراسل في كل فترة زمنية لتعويض الآثار الناجمة عن الحركية شكلت إحدى أهم سيئات هذه الطريقة.

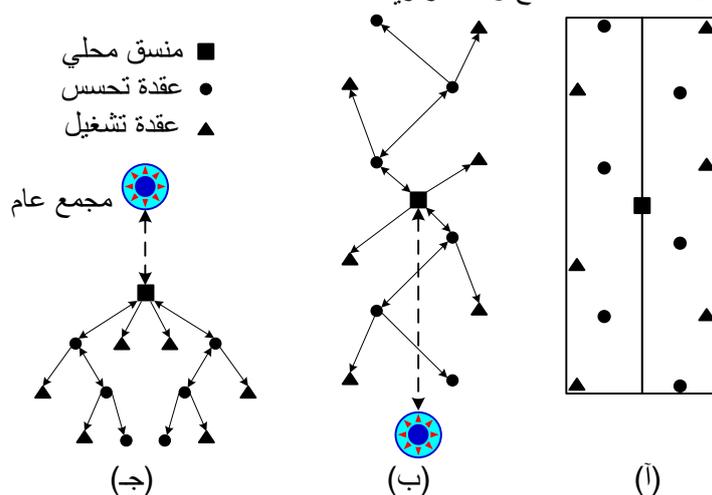
بينما اعتمد [9] على استخدام بنية الانترنت مع استخدام ZigBee من أجل حل مشكلة الشبكات الكبيرة. وتكمن سيئة هذا البحث في ضرورة استخدام بوابات دخول إلى الانترنت، وضرورة توفر بنية تحتية مناسبة لتقديم خدمات الانترنت في أماكن تواجد البيوت البلاستيكية وهذا غير مضمون دائماً في بيئاتنا الزراعية.

لذلك فإن اعتماد مراقبة البيوت البلاستيكية على تقنية واحدة مثل ZigBee، دون التشارك مع تقنيات أخرى، وتحسين أداء الشبكات من هذا النوع، يؤمن التجانس في استخدام وسط التراسل بما يزيل الحاجة إلى بوابات العبور، مع المحافظة على إمكانية الاستخدام من أجل صالات بلاستيكية تغطي مساحات واسعة وتكون قابلة للتوسيع. ويقدم هذا البحث دراسة لأداء الشبكات التي تعتمد على تقنية ZigBee فقط بما يزيل الحاجة إلى تعقيدات ومشاكل استخدام الشبكات الهجينة ويؤمن أداء جيداً كافياً للقيام بمهمة المراقبة والتحكم بالبيوت البلاستيكية.

سيناريوهات المحاكاة

تم في هذا البحث اعتماد سيناريوهات محاكاة تماثل واقع بناء واستثمار البيوت البلاستيكية في منطقتنا. لذلك فقد اعتبرنا أن مساحة البيت البلاستيكي الواحد هي 500 م². (10م × 50 م) وهي مساحة مشابهة لما هو مستخدم معيارياً في الساحل السوري.

كما اعتبرنا أن كل بيتين بلاستيكيين يحتاجان لمنسق واحد حيث إن أغلب المزارعين يلجؤون إلى استخدام الصالة، وهي مكونة من بيتين بلاستيكيين على الأقل. وفي جميع السيناريوهات تم الاعتماد على وجود منسق محلي في كل صالة. وترتبط كل المنسقات بمجمع واحد مركزي.



الشكل (1): (أ) - توزيع العقد في الصالة، (ب) - تشبيك العقد، (ج) - البنية الشجرية لشبكة العقد.

يوجد في كل صالة ست عقد تحسس، وست عقد تشغيل كما يبين الشكل (1-أ). تم افتراض أن عقدة التحسس من النوع القابل لتلقي القيم الفيزيائية المختلفة للحرارة والرطوبة وغاز ثاني أكسيد الكربون وشدة الإضاءة ورطوبة التربة.

وإرسالها إلى منسق محلي وعبره إلى مجمع مركزي للمعطيات. أما عقد التشغيل فترتبط كل منها بوظيفة واحدة محددة وهذه الوظائف:

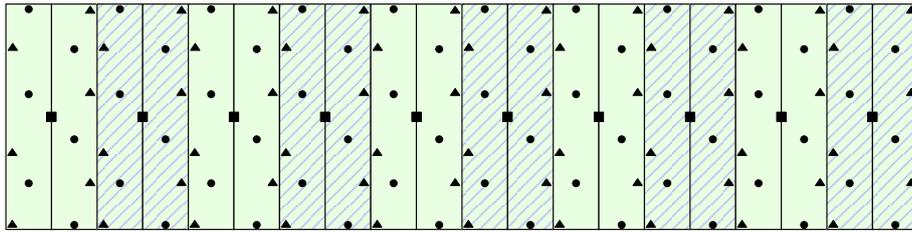
- تشغيل نظام التهوية
- تشغيل نظام الحرارة
- تشغيل الإضاءة
- تشغيل نظام الري
- إغلاق الفتحات الجانبية أو فتحها.

• احتياطات لوظائف إضافية كتشغيل أغطية البيوت لتخفيف الحرارة الناجمة عن الشمس في بعض الفصول ويبين الشكل (1-ب) التوزيع المفترض لهذه العقد. مع الملاحظة أن تغيير توزيع هذه العقد لن يغير من صحة النتائج بشرط بقاء عددها ثابتاً. وتتلقى هذه العقد معطيات تشغيلها من المجمع المركزي عبر المنسقات المحلية. تشكل العقد في كل صالة شبكة ذات بنية شجرية، كما في الشكل (1-ج)، يدخل في تركيبها العقد الطرفية والموجهات والمنسق المحلي. حيث يمثل المنسق المحلي رأس الشجرة في هذه الحالة. وبناء على هذا النموذج في الصالة الواحدة سنفترض أن لدينا السيناريوهات الآتية التي سنقوم بمحاكاتها وفقاً لبنى شبكية مختلفة لاستخلاص النتائج وطرح التوصيات اللازمة بشأن أفضل البنى التي تناسب حجماً ما أو عدداً ما من الصالات.

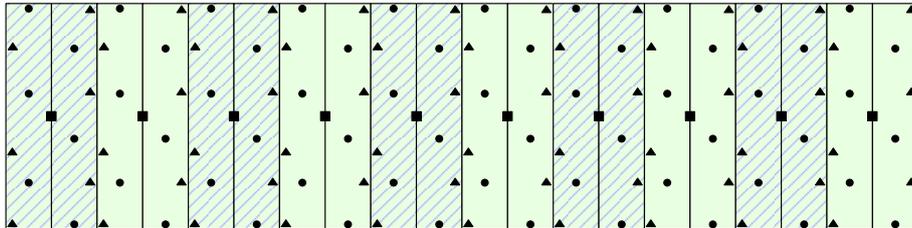
السيناريو الأول: صالة واحدة

وهذا السيناريو يناسب صغار المزارعين حيث يتكون من صالة واحدة مكونة من بيتين بلاستيكيين وفيها ست عقد تحسس وست عقد تشغيل. وترتبط الحساسات ببعضها ومع المنسق المحلي بطريقة شجرية كما هو مبين بالشكل (1). وسنعتبر أن توزيع العقد في هذا السيناريو هو نموذج يجري تكراره في الصالات المكونة للسيناريوهات الأخرى.

السيناريو الثاني: 20 صالة وتشبيك شجري للمنسقات

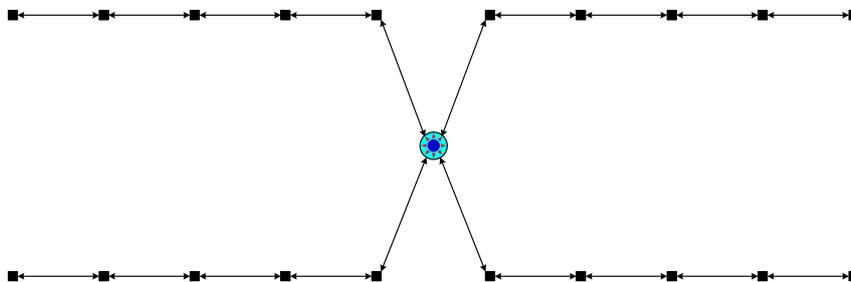


المجمع الرئيسي



الشكل (2): توزيع العقد في السيناريو الثاني والثالث

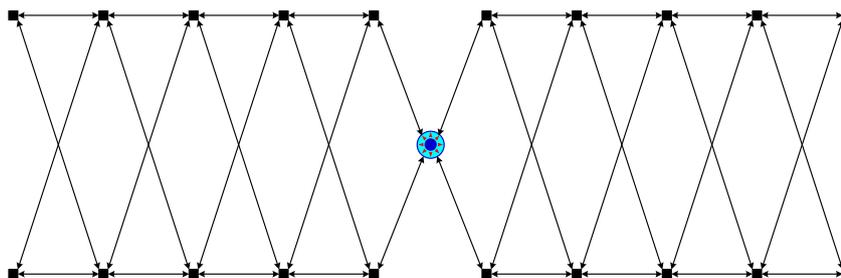
تتوزع الصالات في هذا السيناريو كما في الشكل (2)، وكل صالة في هذا السيناريو هي كما في السيناريو الأول، ولكن ترتبط المنسقات المحلية لهذه الصالات ببعضها البعض بشكل شجري كما هو مبين في الشكل (3) من أجل إيصال معطياتها إلى المجمع الرئيسي.



الشكل(3): تشبيك المنسقات المحلية إلى المجمع الرئيسي في السيناريو الثاني

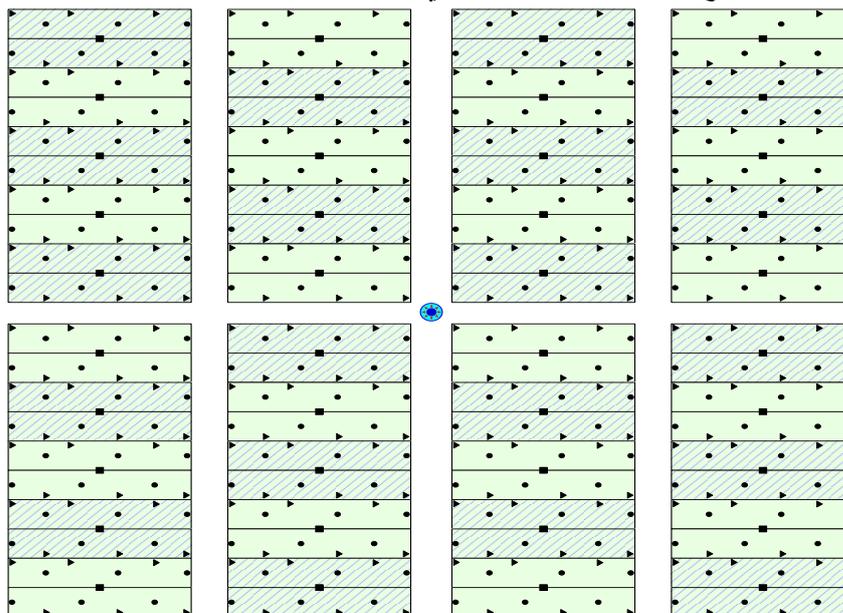
السيناريو الثالث: 20 صالة وتشبيك شبه مختلط للمنسقات

ويختلف هذا السيناريو عن سابقه في أن المنسقات المحلية لهذه الصالات ترتبط ببعضها البعض بشكل شبه مختلط mesh كما هو مبين في الشكل (4) من أجل إيصال معطياتها إلى المجمع الرئيسي.



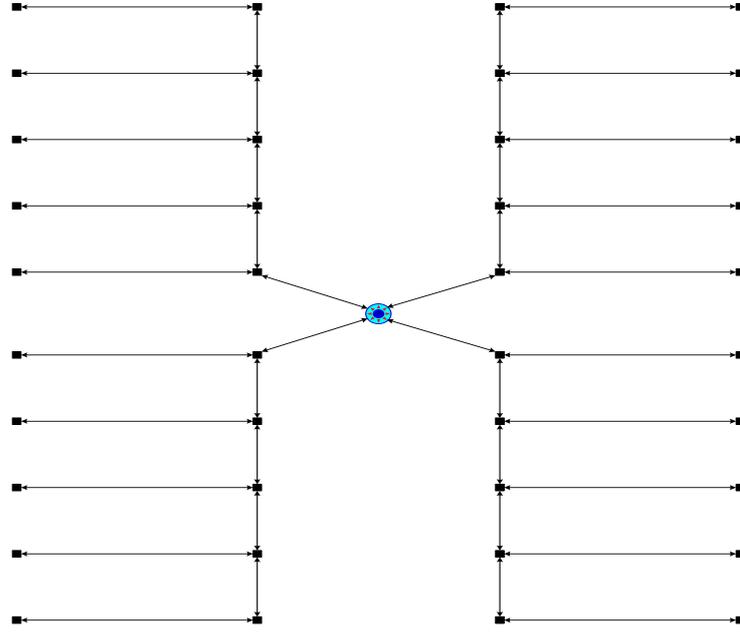
الشكل(4): تشبيك المنسقات المحلية في السيناريو الثالث

السيناريو الرابع: 40 صالة وتشبيك شجري للمنسقات



الشكل(5): توزع العقد في السيناريو الرابع والخامس

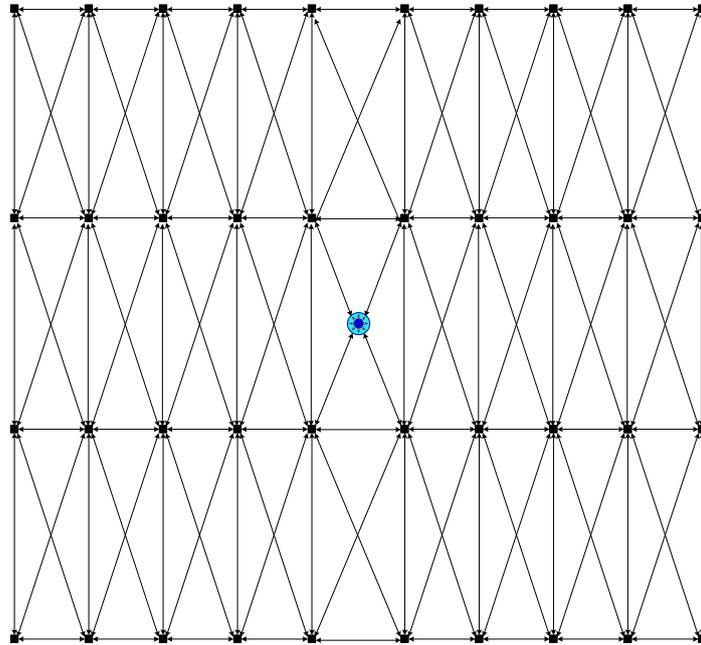
ويختلف هذا السيناريو عن السيناريو الثاني في أنه يحوي ضعف عدد الصالات التي توجد في السيناريو الثاني. ويوضح الشكل (5) توضع الصالات لهذا السيناريو بينما يبين الشكل (6) تشكيل شبكة المنسقات المحلية فيه.



الشكل(6): تشكيل المنسقات المحلية في السيناريو الرابع

السيناريو الخامس: 40 صالة وتشبيك شبه مختلط للمنسقات

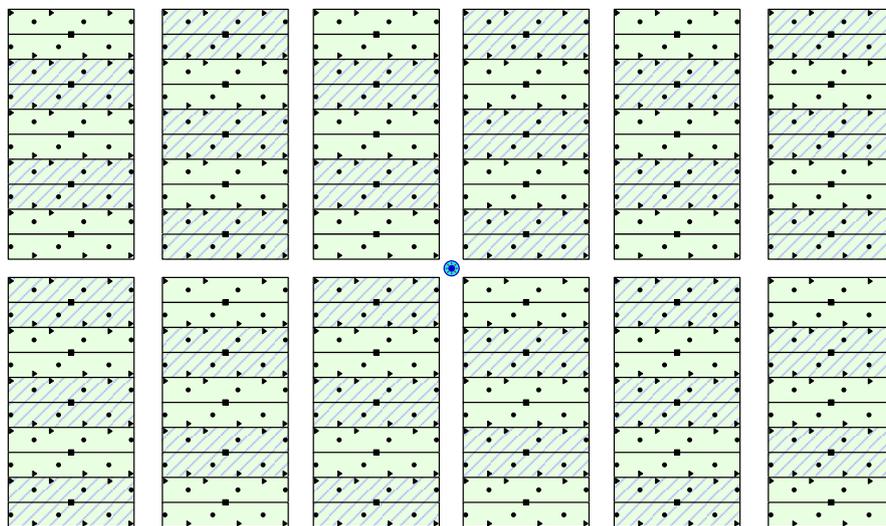
ويختلف هذا السيناريو عن سابقه في أن المنسقات المحلية لهذه الصالات ترتبط ببعضها البعض بشكل شبه مختلط كما هو مبين في الشكل (7) من أجل إيصال معطياتها إلى المجمع الرئيسي.



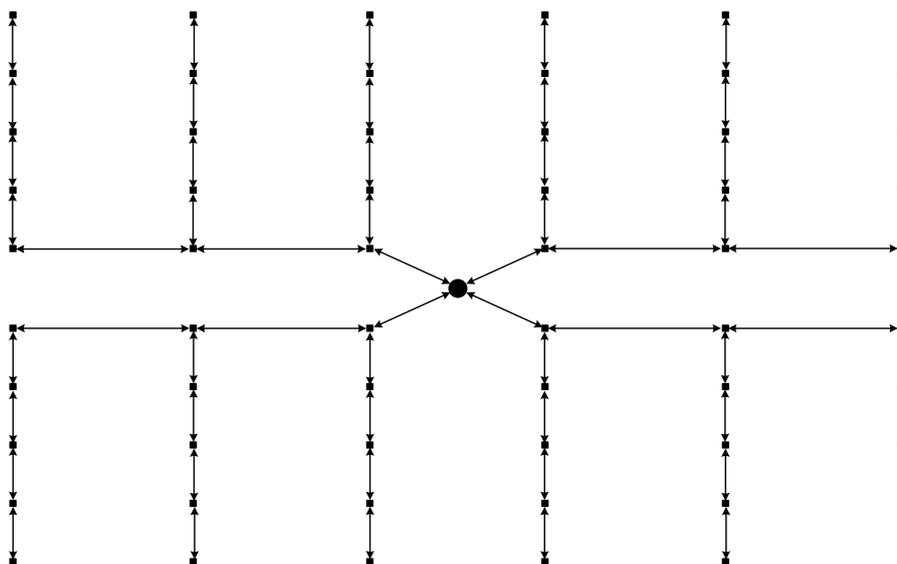
الشكل(7): تشكيل المنسقات المحلية في السيناريو الخامس

السيناريو السادس: 60 صالة وتشبيك شجري للمنسقات

ويختلف هذا السيناريو عن السيناريو الثاني في أنه يحوي ثلاثة أضعاف عدد الصالات التي توجد في السيناريو الثاني. ويوضح الشكل (8) توزيع الصالات لهذا السيناريو بينما يبين الشكل (9) تشكيل شبكة المنسقات المحلية فيه بشكل شجري.



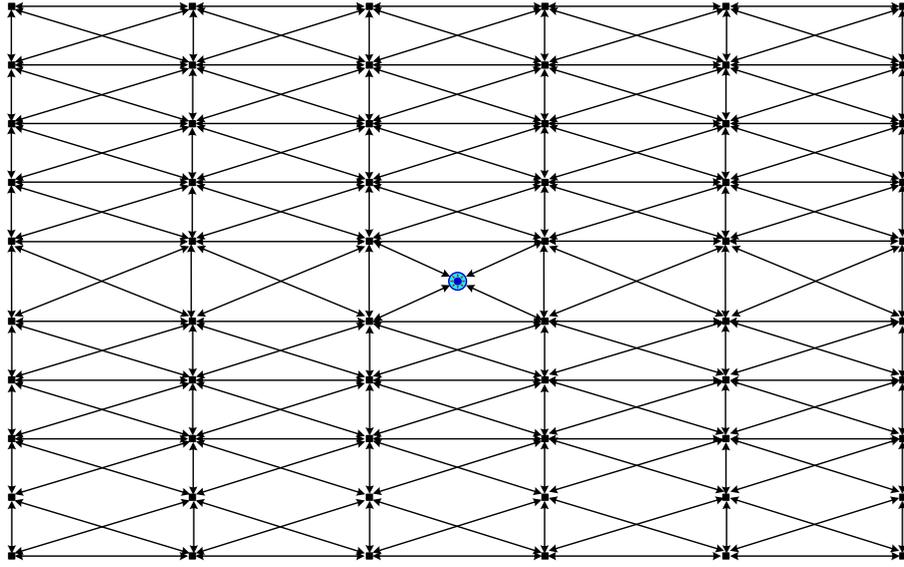
الشكل(8): توزيع العقد في السيناريو السادس والسابع



الشكل(9): تشبيك المنسقات المحلية في السيناريو السادس

السيناريو السابع: 60 صالة وتشبيك شبه مختلط للمنسقات

ويختلف هذا السيناريو عن سابقه في أن المنسقات المحلية لهذه الصالات ترتبط ببعضها البعض بشكل شبه مختلط كما هو مبين في الشكل (10) من أجل إيصال معطياتها إلى المجمع الرئيسي.



الشكل(10): تشبيك المنسقات المحلية في السيناريو السابع

ويبين الجدول (1) عدد المكونات الأساسية من أنواع العقد لكل سيناريو .

الجدول(1): عدد العقد وتوزعها حسب الموقع والوظيفة

السيناريو	عدد العقد		
	المنسقات المحلية	الموجهات	الطرفية
الأول	1	4	8
الثاني	20	80	160
الثالث	20	80	160
الرابع	40	160	320
الخامس	40	160	320
السادس	60	240	480
السابع	60	240	480

هنا لابد من الحديث عن حجم الرزمة وعن الحجم المناسب للرزمة المستخدمة في الشبكة. حيث تسمح شبكات الحساسات اللاسلكية المعتمدة على ZigBee باستخدام رزم نقل معطيات يصل حجمها حتى 128 bytes. ولكن المعطيات التي نريد نقلها بشكل أساسي لا تحتاج إلى استخدام الحجم الأعظمي لهذه الرزم. وتسمح التقنية المستخدمة باستخدام حجم الرزم المناسب. لذلك قمنا بوضع تصورنا عن حجم الرزمة انطلاقاً من وظيفة الشبكة بحيث تحوي كل رزمة جميع القيم التحكمية اللازمة. واقتراحنا أن تحوي كل رزمة بشكل أساسي على الحقول المبينة في الشكل (11).

الزرمة في حالة عقدة التحسس	معرفة العقدة ID	تسلسل الزرمة	معلومات عن العقدة	حالة الرطوبة	حالة الحرارة	غاز ثاني أكسيد الكربون	شدة الاضاءة	رطوبة التربة	احتياط
	2	2	4	2	2	2	2	2	4
الزرمة في حالة عقدة التشغيل	معرفة العقدة ID	تسلسل الزرمة	معلومات عن العقدة	معلومات تشغيلية	احتياط				
	2	2	4	2	4				
المعطيات (في حالتي الحساس والمشغل)	عنوان الواجهة	نوع الرسالة	معرفة المجموعة	الطول					
	4	2	2	2					

الشكل(11): الحقول الأساسية المكونة لزرمة معطيات عقدة الشبكة مقدر بالبايت Bytes

إن حجم هذه الحقول يسمح لنا باستخدام رزم بحجم 64 bytes بشكل كاف. ومن الملاحظ هنا أن إنقاص حجم الرزم إلى النصف يسمح بمضاعفة حمل الشبكة على مستوى بروتوكول الدخول إلى الوسط MAC Load دون أن ينتج عن ذلك آثار سلبية تذكر. مما يسمح بمضاعفة عدد الصالات التي سيكون بالإمكان التحكم بها [10].

يسمح المحاكى NS2 ببناء الشبكة وفق السيناريوهات المبينة أعلاه ومحاكاة عملها [11]. وقد اختيرت القيم التي يعمل عندها المرسل وفق بروتوكول 802.15.4 لتكون كما في الجدول (2) وقد تم اعتماد هذه القيم انطلاقاً من القيم الحقيقية لمواصفات وشروط عمل أجهزة ترانس ZigBee [12]:

الجدول (2): مواصفات مرسل العقدة

التقنية	البروتوكول	التردد	استطاعة الإرسال	الحساسية	المدى
ZigBee	IEEE 802.15.4	2.4 GHz	0.05 W	-85 dbm	500 m

كانت الخطوة الآتية أننا قمنا بتهيئة المحاكى ليعمل وفق بارامترات الجدول (3).

الجدول (3): بارامترات عمل المحاكى

البارامتر	القيمة
BO: ترتيب المنارة	6
SO: ترتيب الإطار الكلي	0
الزمن بين بداية إرسال كل رزمتين في عقد التحسس	10 sec.
حجم الرزمة	64 bytes
زمن المحاكاة	900 sec
عدد العقد	حسب السيناريو، الجدول (1)
استطاعة الإرسال	0.05 W
عدد مرات المحاكاة	10
المسافة بين العقد	20 m
اتجاه نقل المعطيات (حالة المراقبة)	من عقد التحسس إلى المنسق
اتجاه نقل المعطيات (حالة التحكم)	من المنسق إلى عقد التشغيل

- كما قمنا بتهيئة الشبكة في المحاكي انطلاقاً من الاعتبارات الآتية:
 - يتصل المجمع مع 5 منسقين محليين بشكل مباشر كحد أعظمي.
 - تتصل كل عقدة طرفيه مع الموجه (الأب).
 - يتصل كل موجه مع عقدتين طرفيتين فقط ومع موجه واحد فقط.
 - يتصل كل منسق مع أي عدد من المنسقين المجاورين حسب ما تسمح به استطاعة الإرسال لكليهما.
- طبقت المحاكاة وفقاً للسيناريوهات المبينة أعلاه، وذلك بتكرار المحاكاة لعشر مرات لكل حالة وأخذ القيم المتوسطة لمجموع القيم الناجمة عن محاكاة هذه الحالات. واستخلاص جداول بقيم بارامترات التقييم التي تم عرضها سابقاً من أجل كل سيناريو ومن أجل كل تكرار وأخذ المتوسط الحسابي لقيم البارامترات. ومن ثم رسم المخططات البيانية التي توضح تغيرات قيم هذه البارامترات.

النتائج والمناقشة:

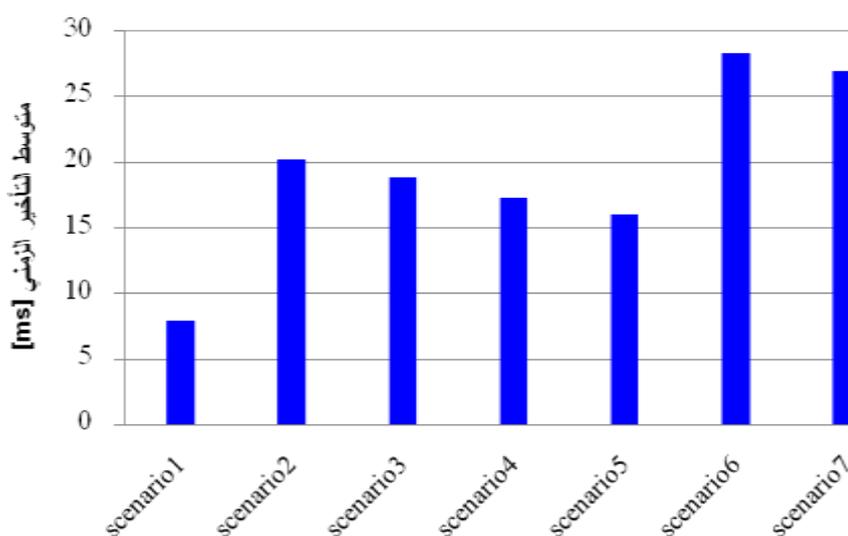
1-8 تأخير الرزم:

تأخير الرزمة Packet Delay: وهو الزمن اللازم للرزمة كي تصل من منبعها إلى مستقرها. وفي حالتنا هنا هو الزمن اللازم للرزمة كي تصل من عقدة التحسس إلى المجمع الرئيسي. أو الزمن اللازم للرزمة كي تصل من المجمع الرئيسي إلى عقدة التشغيل. وقد تم الاعتماد على حساب القيمة المتوسطة لتأخير الرزمة مأخوذاً من أجل جميع الرزم على كامل زمن المحاكاة، ومن أجل عدد مرات المحاكاة. وقد حصلنا على المخطط المبين في الشكل (12).

نلاحظ أن التأخير الزمني يرتبط ارتباطاً وثيقاً بعدد العقد الذي يعكسه عدد الصالات. يعطي التأخير الزمني تصوراً عن مدى مشغولية عقد الشبكة وعن الاختناقات الحاصلة في أجزاء الشبكة.

وأول ما يلاحظ في هذه المخططات أنه في جميع الشبكات التي ترتبط منسقاتها المحلية ببنية شجرية يزداد التأخير في العقد عن مثيلاتها التي ترتبط منسقاتها المحلية ببنية شبه مختلطة. ويعود ذلك إلى وفرة عدد المسارات المتاحة في البنية شبه المختلطة مقارنة بالبنية الشجرية.

كما يبدو في البداية أن قيم التأخير في السيناريو الرابع والخامس غير منطقية بسبب ازدياد عدد العقد عن السيناريو الذي كان قبله. ولكن السبب يعود إلى ازدياد عدد العقد التي لا تستطيع إرسال معطياتها في كل إطار كلي، وذلك بسبب زيادة الحمل في الشبكة ونقصان النفاذية. إن زيادة عدد هذه العقد يؤدي إلى نقصان الرزم التي يتم إرسالها فعلياً ومن ثم انخفاض قيمة متوسط التأخير الزمني الحاصل.

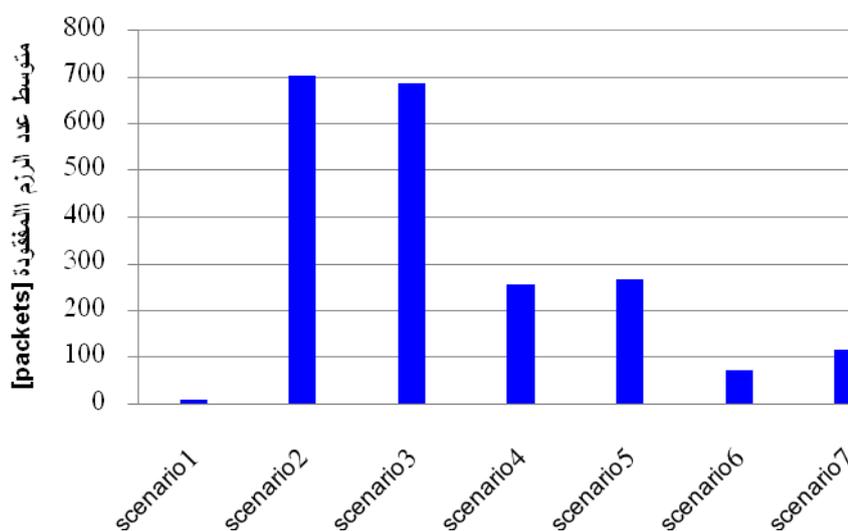


الشكل(12): متوسط التأخير الزمني للرمز

أما في السيناريو الأخير وبسبب تضاعف عدد العقد عن السيناريو الذي قبله فإن قيمة متوسط التأخير الزمني تعود للارتفاع من جديد.

2-8 متوسط عدد الرزم المفقودة في واحدة الزمن:

فقدان الرزم Packet lose: وهو عدد الرزم التي لا تستطيع الشبكة إيصالها إلى مستقرها لسبب أو لآخر. ومن أسباب فقدان الرزم تخامد الإشارة ومشغولية العقد والتصادم. يعبر متوسط عدد الرزم المفقودة عن مدى وثوقية الشبكة فكلما كان هذا العدد صغيراً كانت الشبكة أكثر وثوقية وأفضل أداءً. وقد مثلنا النتائج بهذا الخصوص بالمخطط المبين في الشكل (13).



الشكل(13): متوسط عدد الرزم المفقودة

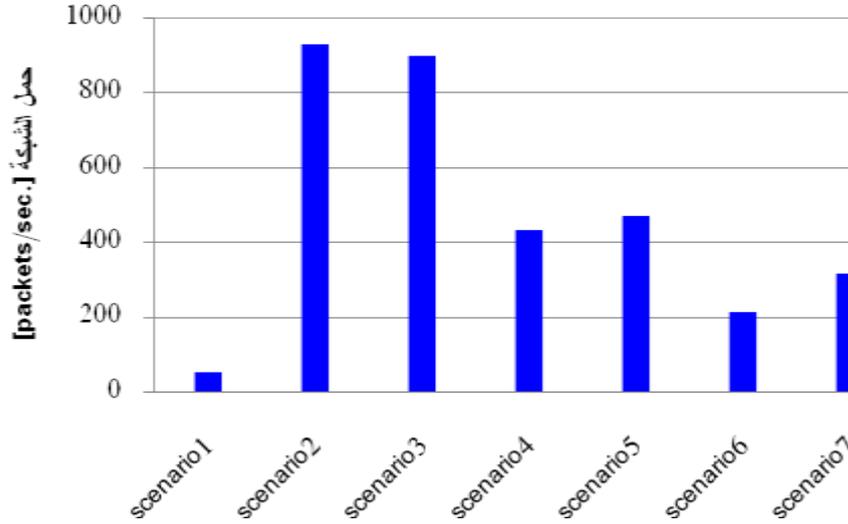
هنا نلاحظ أيضاً أن متوسط عدد الرزم المفقودة في السيناريوهات 4 و 5 قد انخفض عما كان عليه في السيناريوهات 2 و 3 وكذلك في السيناريوهات 6 و 7 عما كان عليه في السيناريوهات 4 و 5. وقد يبدو ذلك مناقضاً لطبيعة الأمور ولكن تبين من مراقبة حمل الشبكة أن هذا الحمل ينخفض في هذه السيناريوهات كلما ازداد عدد العقد

بما يؤدي إلى نجاح الشبكة في إيصال ما يتم تزويدها به من رزم في هذه السيناريوهات بشكل أفضل من السابق. هذا مع حقيقة أن الرزم التي تصل إلى مستقرها في هذه السيناريوهات أقل مما هو عليه في السيناريوهات السابقة ولكنه يبقى ضمن المجال المقبول لأداء الشبكة لوظيفتها بشكل عام كما يبين مخطط الرزم المستقبلية لاحقاً.

8-3 متوسط حمل الشبكة في وحدة الزمن:

الحمل Load: وهو عدد الرزم التي يتم إرسالها حقيقة في الشبكة في وحدة الزمن بما في ذلك التي لا يتم إيصالها وتلك التي يتم إعادة إرسالها لسبب أو لآخر. يولد السيناريو الأول حملاً يفوق بكثير ما تحتاجه عملية المراقبة والتحكم. كما يولد السيناريو الثاني والثالث بحمل أعلى من بقية السيناريوهات. ويكون الحمل في هذين السيناريوهين قريباً في قيمته في كليهما. كما يولد السيناريو الخامس حملاً أعلى من الرابع، والسابع أعلى من السادس. وهنا نخلص إلى أنه حين يزداد عدد الصالات فإننا ننصح باستخدام السيناريو الذي يعتمد على توصيل المنسقات المحلية ببنية شبكية شبه مختلطة. ولكننا نفضل أن يتم استخدام السيناريوهات التي تستخدم البنية الشجرية لربط المنسقات في حال كون عدد الصالات ليس كبيراً كما في السيناريو الثاني والثالث.

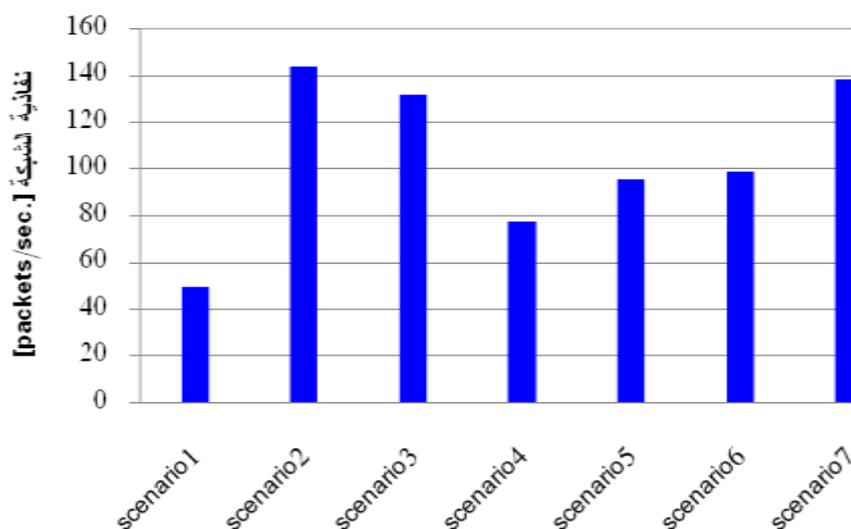
وقد تم أخذ القيمة الوسطى لحمل الشبكة، وحصلنا على المخطط المبين في الشكل (14)



الشكل (14): متوسط حمل الشبكة

8-4 متوسط نفاذية الشبكة في وحدة الزمن:

النفاذية Throughput: وهو معدل إرسال المعطيات الحقيقي في الشبكة ويمثل في قيمته العظمة سعة الإرسال لهذه الشبكة وهو مرتبط بعدة عوامل مثل حمل الشبكة والاختناقات التي قد تحدث والتصادمات التي لا بد منها حين استخدام البروتوكولات المعتمدة على الدخول العشوائي إلى الوسط المشترك. وتزداد النفاذية بشكل طبيعي كلما ازداد الحمل حتى الوصول إلى قيمة السعة العظمى لتتناقص بعد ذلك مع ازدياد الحمل لعدم قدرة الشبكة على تلبية متطلبات النقل للأحمال العالية، بسبب الاختناقات والتصادمات وغيرها. يمكن قياس النفاذية بعدد البتات التي تستطيع الشبكة نقلها بشكل صحيح في وحدة الزمن. كما يمكن قياسها بعدد الرزم التي تستطيع الشبكة نقلها في وحدة الزمن. وقد قمنا باعتماد الأخير. وحصلنا على المخطط المبين في الشكل (15).



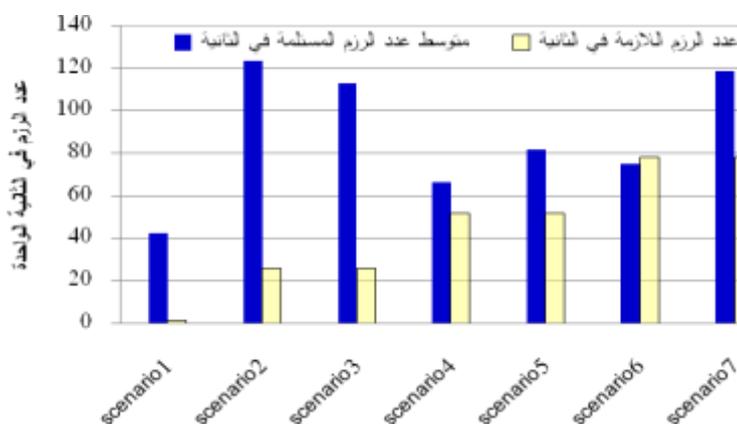
الشكل(15): متوسط نفاذية الشبكة

لكن عملياً نلاحظ أن السيناريوهين 4 و5 يعطيان نفاذية أدنى من السيناريوهين 6 و7 وتكون في الشبكة شبه المختلطة أعلى مما هي في البنية الشجرية للمنسقات المحلية تحديداً عند ازدياد عدد الصالات عن 20 (حالتى 40 و60 صالة).

5-8 متوسط عدد الرزم التي تم استلامها في واحدة الزمن:

وقد تم أخذ القيم الوسطى للرزم التي تم استلامها ومقارنتها بعدد الرزم اللازمة من أجل كل سيناريو، وحصلنا على المخطط المبين في الشكل(16). وقد اعتبرنا أن استلام رزمة واحدة كل 10 ثوان من كل عقدة هو أمر كاف لطبيعة عمل الشبكة. ووضعنا قيم المقارنة، المبينة في الشكل (16) باللون الفاتح، بناء على الحسابات المباشرة باعتماد معدل استلام الرزم هذا.

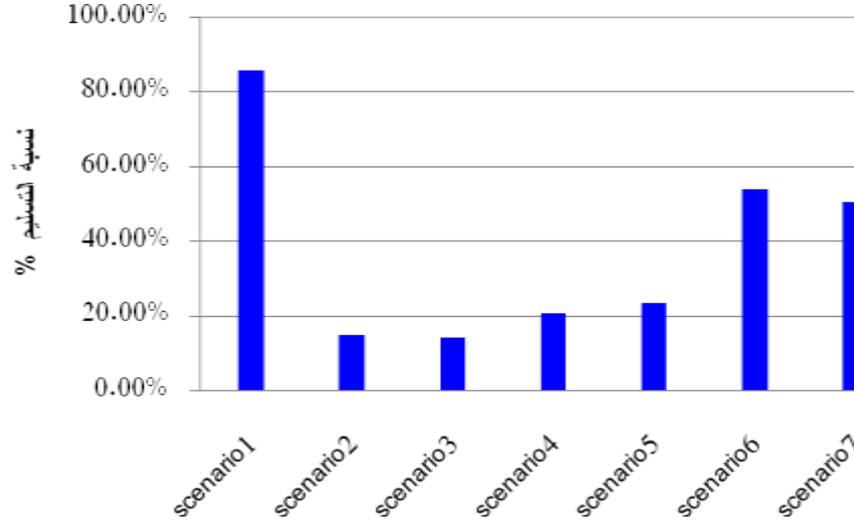
وبدلنا هذا المخطط على أن جميع السيناريوهات تستطيع إيصال عدد الرزم المطلوبة للتحكم باستثناء السيناريو السادس الذي يجعلنا نستنتج أنه لابد من استبعاد توصيل المنسقات المحلية بشكل شجري حين ازدياد عدد الصالات ومن ثم عدد العقد عن حد معين سنقوم بتحديدده لاحقاً.



الشكل(16): مقارنة متوسط عدد الرزم المستقبلية من العقد بعدد الرزم اللازمة لإنجاح عملية التحكم وذلك في واحدة الزمن

7-8 نسبة التسليم:

نسبة التسليم **Delivery ratio**: وهي نسبة الرزم التي تصل إلى مستقرها إلى الرزم التي يتم إرسالها من منابعها. وقد تم أخذ القيمة الوسطى لتأخير الرزم، وحصلنا على المخطط المبين في الشكل (17).



الشكل (17): نسبة التسليم

ونلاحظ أن نسبة التسليم هذه أعظمية عند استخدام صالة واحدة أي عند عدد صغير من العقد. وهذا يعني أن أغلب الرزم التي أرسلت قد تم استقبالها في مستقرها بشكل سليم. تتخفف نسبة التسليم في السيناريو الثاني والثالث إلى أدنى حد وهذا يعني أن العقد تنجح في إرسال رزمها ولكن هذه النسب تضع بنسب كبيرة في الشبكة. تتحسن نسبة التسليم في السيناريو الرابع والخامس قليلاً عما هي عليه في السيناريو الثاني والثالث كما تزداد هذه النسبة في السيناريوهين السادس والسابع. وما التحسن لا يعني أن أداء الشبكة كان أفضل وإنما أن عدد العقد التي لا تنجح في إرسال رزمها في الشبكة خلال بعض الفترات الزمنية المخصصة لها يزداد. وهذا يؤدي بدوره إلى انخفاض الحمل وازدياد النفاذية إلى الحد الذي ازدادت فيه النفاذية من جديد.

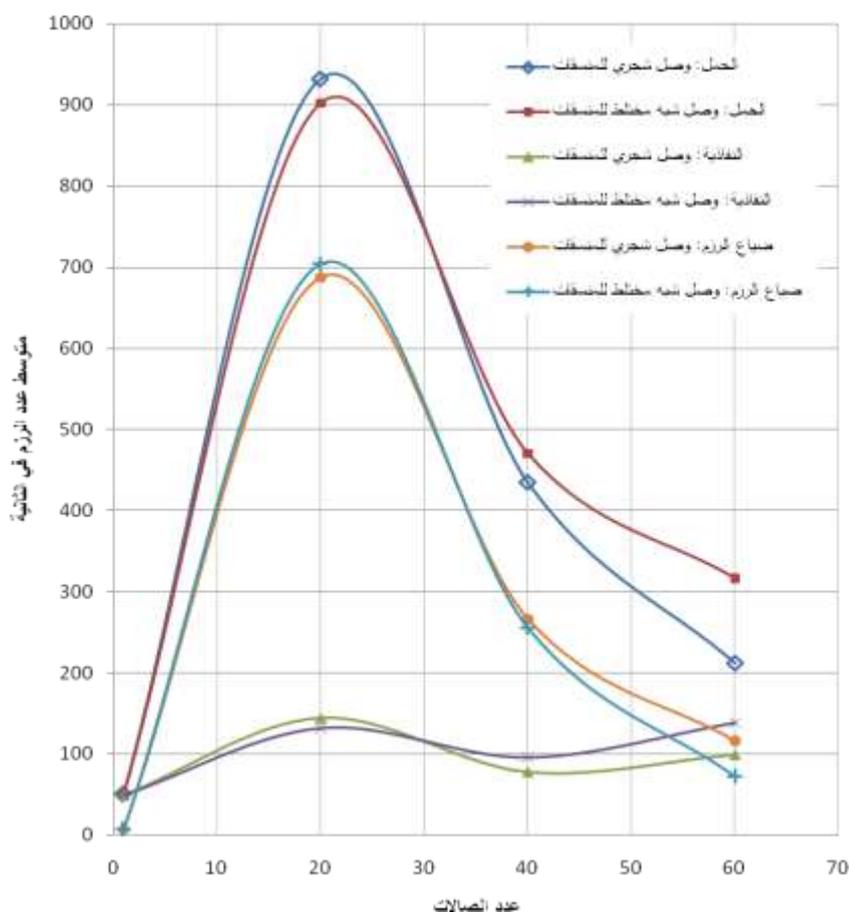
8-8 ملاحظات أخرى

على الرغم من الحقائق التي أظهرتها نتائج المحاكاة والتي تم إيضاحها في المخططات المبينة أعلاه، إلا أن هذه النتائج لم تكن حاسمة بشأن اختيار بنية الشبكة في أي من السيناريوهات الموضوعية بشكل قاطع، لذلك من المفيد وضع مقارنة بين السيناريوهات تبين تغيير النفاذية وحمل الشبكة وضياع الرزم مع تغيير عدد الصالات المستخدمة في الشبكة ككل وذلك من أجل الشبكات التي تعتمد التوصيل الشجري للمنسقات المحلية ومن أجل الشبكات التي تعتمد التوصيل شبه المختلط لهذه المنسقات. وبإجراء المحاكاة مع زيادة عدد الصالات في الحالتين المذكورتين حصلنا على النتائج المبينة في الشكل (18).

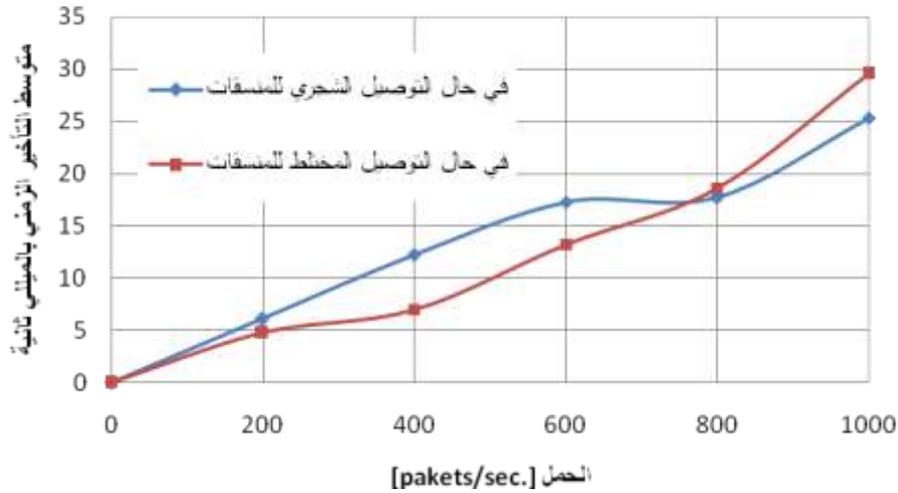
تبين هذه النتائج أن سلوك الشبكة يكون متشابهاً عند عدد صالات قريب من 30 صالة. وأن هذا السلوك يختلف عند عدد صالات أقل من 30 صالة عما هو عليه عند عدد صالات أكبر من هذا العدد.

فنلاحظ أن الحمل والنفاذية في التوصيل الشجري للمنسقات يكونان أعلى من الحمل والنفاذية في حالة التوصيل شبه المختلط لهذه المنسقات عند عدد صالات أقل من 30 صالة ويصبحان أقل منهما عند عدد صالات أكبر من 30 صالة. وهذا يعني أن العقد تنجح بتسليم رزمها إلى الشبكة وتنجح بتمرير هذه الرزم بشكل أفضل عبر الشبكة عند

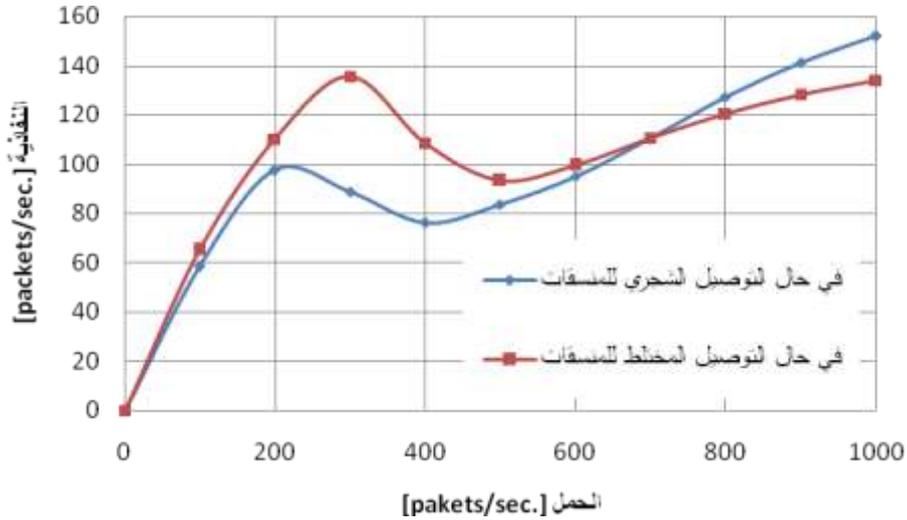
عدد صالات أقل من 30 صالة في حالة التوصيل الشجري بينما تتجح العقد في الشبكات ذات التوصيل شبه المختلط عند عدد صالات أعلى من 30 صالة بتسليم رزمها وتمريها عبر الشبكة بشكل أفضل مما هو عليه الأمر في الشبكات ذات التوصيل الشجري. ويؤكد منحني فقدان الرزم في الحالتين أفضلية التوصيل الشجري للمنسقات عند عدد صالات أقل من 30 صالة وأفضلية التوصيل شبه المختلط لهذه المنسقات عند عدد صالات أكبر من 30 صالة. لم تعط السيناريوهات السابقة توضيحاً كافياً لعلاقة التأخير الزمني بازدياد حمل الشبكة ولا علاقة النفاذية بحمل الشبكة، وذلك لاختلاف قيم هذا الحمل في كل من السيناريوهات السابقة. وباعتبار أن تأثير حمل الشبكة يكون أكبر كلما ازداد عدد العقد. لذلك قمنا بتنفيذ المحاكاة باستخدام السيناريوهين السادس والسابع باعتبارهما يحويان العدد الأكبر من الصالات، بمعنى آخر العدد الأكبر من العقد. إذ قمنا بزيادة الحمل تدريجياً والحصول على قيم التأخير الزمني وقيم النفاذية من أجل السيناريوهين حيث تبين المخططات المبينة في الشكلين (19) و (20) نتائج المحاكاة. ويتضح من المخططات أفضلية التوصيل شبه المختلط للمنسقات المحلية بشكل عام عند معدلات حمل أقل من 700 packets/sec. وأفضلية التوصيل الشجري عند معدلات حمل أعلى من 700 packets/sec. ويعود ذلك بشكل أساس إلى زيادة مشغولية وصلات الشبكة في التوصيل شبه المختلط للمنسقات المحلية مما يزيد من التأخير الزمني ويقلل من نفاذية الشبكة.



الشكل(18): الحقول الأساسية المكونة لرزمة معطيات عقدة الشبكة



الشكل(19): علاقة التأخير بالحمل من أجل الشبكات الكبيرة



الشكل(20): علاقة النفاذية بالحمل من أجل الشبكات الكبيرة

الاستنتاجات والتوصيات:

بينت النتائج أن استخدام شبكة واحدة متجانسة من الحساسات اللاسلكية التي تعتمد على تقنية ZigBee يؤمن نقلاً لمعطيات المراقبة والتحكم في الاتجاهين من المنسق الرئيسي إلى عقد التشغيل ومن عقد التحسس إلى المنسق الرئيس.

يختلف أداء هذه الشبكات باختلاف أحجامها. وهنا بينت النتائج أفضلية استخدام الشبكات التي تعتمد التوصيل الشجري للمنسقات المحلية على الشبكات التي تعتمد التوصيل شبه المختلط لهذه المنسقات عندما يكون عدد الصالات أصغر من 30 صالة بينما يكون استخدام الشبكات التي تعتمد التوصيل شبه المختلط للمنسقات المحلية على الشبكات التي تعتمد التوصيل الشجري لهذه المنسقات عندما يكون عدد الصالات أكبر من 30 صالة.

يختلف أداء شبكات البيوت البلاستيكية باختلاف الحمل الذي تستطيع العقد تسليمه للشبكة. حيث تبين النتائج أفضلية التوصيل شبه المختلط للمنسقات المحلية بشكل عام عند معدلات حمل أقل من 700 packets/sec. وأفضلية التوصيل الشجري عند معدلات حمل أعلى من 700 packets/sec. يشير انخفاض الأداء عند عدد صالات مساوٍ لـ 60 إلى أن هذا الأداء سينخفض أكثر مع ازدياد عدد الصالات وذلك بسبب عدم قدرة العقد في مثل هذه الحالة على حجز دور لها في الإطار الرئيس للشبكة ككل. ونقترح أن يكون الحل في مثل هذه الحالات بتقسيم الشبكة إلى أكثر من شبكة حجم كل منها لا يغطي أكثر من 60 صالة.

المراجع :

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 Ortegón Aguilar et al; Wireless Data Acquisition System for Greenhouses; Emerging Technologies in Wireless Ad-hoc Networks; 2011.
9. Zongyu Xu, Baodong Lou, Guangcheng Shao; An Intelligent Irrigation System for Greenhouse Jonquil Based on ZigBee Wireless Sensor Networks; Communications in Computer and Information Science Volume 312, 2012, pp 200-207
10. 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.
11. Introduction to Network Simulator NS2; TeerawatIssariyakul , EkramHossain; 2009 Springer.
12. IEEE Std. 802.15.4, 2003: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). Approved 12 May 2003.