

Studying and Designing of a hybrid gateway to connect the wired CAN and wireless ZigBee parts of a greenhouse's control network

Dr. Mouin Younes*
Dr. Jamal Khalifeh**
Abeer Saleh***

(Received 9 / 7 / 2017. Accepted 26 / 12 / 2017)

□ ABSTRACT □

The importance of integrating different communication technologies together comes from the need to transfer data efficiently, reliably and flexibly in control and monitoring systems operating in various environments.

In spite of the widespread and great success that wireless systems have made in control environments, wiring is still indispensable. Therefore it is useful to integrate wired and wireless technologies to overcome the disadvantages of the two systems, take advantage of each other's, and integrate the various components of the control system (sensors, actuators, microcontroller).

this research aims to study and design a hybrid (wired / wireless) gateways to connect the hybrid parts ,ZigBee and CAN, of the data transfer network that is used in control and monitoring environments, based on the wired CAN Bus technology at the partial networks level and connect this nets by using a wireless backbone based on ZigBee technology. In order to link the two hybrid protocols CAN and ZigBee, a common application layer , that supports the transfer of frames crossing between the two protocols, was designed, Its main function is to aggregate and disaggregate messages, using the OMNeT++ networking simulator to evaluate and compare results.

Keywords: hybrid communications network, near-real time, ZigBee, CAN Bus, throughput, network load, frame lose, delivery ratio, time delay.

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

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

*** post-graduate, Communication & Electronic Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

دراسة وتصميم بوابة هجينة تربط بين القسمين السلكي CAN واللاسكي ZigBee في شبكة تحكم بالدفينات الزراعية

الدكتور معين يونس*

الدكتور جمال خليفة**

عبير صالح***

(تاريخ الإيداع 9 / 7 / 2017. قُبل للنشر في 26 / 12 / 2017)

□ ملخص □

تأتي أهمية الدمج بين تقنيات الاتصالات المختلفة من ضرورة نقل المعطيات بفعالية ووثوقية ومرونة وخاصة في أنظمة التحكم والمراقبة العاملة في البيئات الزراعية والصناعية والخدمية المتنوعة. على الرغم من أن الأنظمة اللاسلكية قد حققت رواجاً هائلاً في بيئات التحكم المختلفة، إلا أنه لا يمكن الاستغناء عن الربط باستخدام الأسلاك. لذلك كان من المفيد أن ندمج بين التقنيات السلكية واللاسلكية، وذلك للتغلب على عيوب النظامين، والاستفادة من مزايا كل منهما، وتحقيق التكامل بين مكونات نظم التحكم المختلفة (حساسات، مشغلات، متحكمات).

يهدف هذا البحث إلى دراسة وتصميم بوابة هجينة (سلكية/لاسلكية) لربط الأجزاء الهجينة (ZigBee - CAN) من شبكة هجينة مناسبة لنقل المعطيات في بيئات التحكم والمراقبة، باستخدام الناقل السلكي CAN Bus على مستوى الشبكات الجزئية وربط هذه الشبكات باستخدام عمود فقري Backbone لاسلكي، يعتمد على تقنية ZigBee. حيث تم اقتراح تصميم طبقة تطبيق مشتركة تدعم بوابة عبور الأطر بين البروتوكولين، وظيفتها الأساسية هي تجميع وفك تجميع الرسائل، ومن ثم محاكاة الشبكة السابقة باستخدام المحاكي الشبكي OMNeT++ ومن ثم استخلاص النتائج ومقارنتها.

الكلمات المفتاحية: شبكة اتصالات هجينة، CAN Bus، ZigBee، الزمن شبه الحقيقي، التأخير الزمني، النفاذية، حمل الشبكة، ضياع الأطر، نسبة التسليم.

* أستاذ - قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية جامعة تشرين - سورية
** أستاذ - قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية جامعة تشرين - سورية
*** طالبة ماجستير - قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - سورية

مقدمة :

تأتي أهمية الدمج بين تقنيات الاتصالات المختلفة من ضرورة نقل المعطيات بفعالية ووثوقية ومرونة وخاصة في أنظمة التحكم والمراقبة العاملة في البيئات الصناعية، والزراعية، والخدمية المتنوعة. منذ نشأتها اعتمدت أنظمة التحكم على استخدام الأنظمة السلكية ومنها الناقل CanBus الذي لاقى رواجاً كبيراً نظراً لوثوقيته وسرعته العالية عند العمل في الزمن الحقيقي. ولكن غالباً ماتعاني الأنظمة السلكية من تعقيد الطوبولوجيا (جغرافية الشبكة) الناتج عن صعوبة مد الأسلاك وخصوصاً مع زيادة مساحة الشبكة، وزيادة التكلفة مع زيادة المسافة اللازمة لوصول العقد، كما أنها لا تتمتع بمرونة كافية لإضافة عقد جديدة عند اللزوم. مؤخراً شهدنا التطور في العديد من الأنظمة اللاسلكية المصممة للتحكم في البيئة الصناعية ومن أشهر هذه التقنيات هي تقنية ZigBee التي انتشرت بشكل واسع وخصوصاً في البيئات التي تتطلب معدلات نقل معطيات منخفضة والتي تعمل في الزمن شبه الحقيقي. إلا أن هذه التقنيات قد تتعرض لضعف وتشويش الإشارة مع ازدياد البعد عن مركز التحكم، والحاجة الدائمة إلى تبديل البطاريات. على الرغم من أن الانظمة اللاسلكية قد حققت رواجاً هائلاً في تطبيقات نقل المعطيات العاملة في بيئات التحكم والمراقبة، إلا أنه لا يمكن الاستغناء عن الربط باستخدام الأسلاك، لذلك كان من المفيد ان ندمج بين التقنيات السلكية واللاسلكية وذلك للتغلب على عيوب كلا النظامين، والاستفادة من مزايا كل منهما، وتحقيق التكامل بين مكونات النظام الصناعي المختلفة (حساسات، مشغلات، متحكمات).

1. أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى دراسة وتصميم بوابة هجينة (سلكية/لاسلكية) لربط الأجزاء الهجينة (CAN-ZigBee) من شبكة هجينة مناسبة لنقل المعطيات في بيئات التحكم والمراقبة، باستخدام الناقل السلكي CAN Bus على مستوى الشبكات الجزئية وربط هذه الشبكات باستخدام عمود فقري Backbone لاسلكي، يعتمد على تقنية ZigBee. واقتراح بنية برمجية للبوابة بين أجزاء الشبكة بما يضمن تحقيق استفادة حقيقية وعملية من هذا الدمج في التقنيات، وإثبات فاعلية استخدام هذه التقنيات في تطبيقات مشابهة، وذلك على مستوى طريقة التوصيل بين هذه البروتوكولات الهجينة، وطريقة الوصول إلى العقد، وتبادل البيانات ضمن الشبكة، بما يسمح بتحقيق وثوقية عالية وتحقيق معدل نقل بيانات مناسب وملئم للتطبيق المدروس.

2. طريقة البحث وموارده :

تعتمد منهجية البحث على دراسة الآليات الهجينة المتبعة في نقل معطيات التحكم والمراقبة واستنتاج آلية جديدة لنقل المعطيات، ومن ثم إجراء دراسة تحليلية لبروتوكولي ZigBee و CAN Bus، وتصميم بوابة هجينة لتحقيق نقل البيانات بفاعلية بين البروتوكولين، تم اقتراح نموذج للديفئات الزراعية ولمركز تحكم خاص بها مع ما يمكن أن تحتويه من عقد (حساسات ومشغلات) وتصميم بنية تحتية لشبكة اتصالات هجينة خاصة بهذا النموذج باستخدام برنامج OMNeT++ لمحاكاة شبكة النموذج السابق ومن ثم القيام باستخلاص النتائج وتحليلها.

3. علاقة البحث بالأبحاث المشابهة:

طبق نظام هجين مكون من بروتوكول ZigBee وبروتوكول CAN في البحثين [1] [2] حيث استخدم بروتوكول CAN كعمود فقري ولكن أدى ذلك إلى عدم استخدام إطار ZigBee بشكل مثالي فتم تجزئة الإطار

إلى عدة إطارات CAN لنقله إلى تطبيق التحكم والمراقبة، أما عند النقل المعاكس فيتم استخدام كامل إطار ZigBee من أجل نقل إطار CAN واحد وهذا يؤدي إلى استعمال موارد الشبكة بفعالية متدنية، كما يزيد التأخير الزمني كلما ازداد عدد العقد، فيقل ذلك من سرعة النقل في الشبكة الهجينة، ويزيد من معدل ضياع الأطر مما يؤثر سلباً على وثوقية الشبكة.

استخدام CAN Bus كعمود فقري في البحث [3] أدى إلى زيادة تكلفة التمديدات وزيادة عدد العقد، الأمر الذي يصعب صيانة الشبكة، مما جعل هذا النظام غير مناسب لاستخدامه في التطبيقات المتوسطة والكبيرة . اقترح استخدام بوابة في البحثين [4] [5] لتحقيق الاتصال بين بروتوكول CAN وبروتوكول ZigBee ولكن لم يتم اقتراح أية خوارزمية واضحة أو بروتوكول لدمج عدة إطارات CAN في إطار ZigBee واحد مع الحفاظ على تأخير زمني مقبول ومناسب للتطبيق المدروس.

إن الأبحاث السابقة قد استخدمت عمود فقري CAN Bus في الربط مع مركز التحكم، في هذا البحث سيتم استخدام ZigBee كعمود فقري وهذا يعطي المميزات التالية :

- 1- إضافة أو إزالة العقد تصبح أمراً أبسط وأقل كلفة ويقلل من عدد العقد الرئيسية .
 - 2- توسيع الشبكة عن طريق إضافة موجّهات جديدة وربطها ببعضها البعض لتغطي منطقة أكبر .
 - 3- تعديل البنية الطوبولوجية للشبكة لتصبح ملائمة للعقبات الفيزيائية والعوائق في المنطقة ويسمح هذا الأمر بإمكانية أتمتة طرفيات النظام بشكل كامل.
 - 4- القدرة على تصميم البنية التحتية لنموذج يمكن تعميمه في كثير من التطبيقات الصناعية المشابهة فقط بتعديل طبقة التطبيق وإمكانية الربط مع شبكات مختلفة مثل الايثرنت [6].
- في البحث [7] تم استخدام عمود فقري يعتمد على تقنية ZigBee ولكنه لم يستخدم جدول توجيه في حين سوف يتم استخدام جدول توجيه في البنية التصميمية للبوابة في هذا البحث وهذا يتيح مرونة ووثوقية أعلى سهولة أكبر في إرسال واستقبال الرسائل .

4. بنى شبكات تراسل المعطيات باستخدام تقنيتي CAN Bus و ZigBee

:

سيتم تطبيق البحث على نموذج افتراضي هو مجموعة مكونة من 4 دفيئات زراعية وما تحويه من حساسات ومشغلات خاصة بالتطبيقات الحديثة للبيئة الزراعية، وقد قمنا بتصميم شبكات نقل البيانات ضمن الدفيئات اعتماداً على تقنية CAN Bus في المستوى المحلي، وربط الدفيئات بمركز خاص للمراقبة والتحكم وذلك باستخدام عمود فقري Backbone لاسلكي بما يؤمن تحسين أداء المشروع ككل. وسيتم التطرق إلى آليات التجسير بين الشبكات الحلقية والعمود الفقري، ومناقشتها، وتحليل النتائج ومحاكاتها عبر البرنامج OMNeT++، حيث تم إجراء البحث في مخبر كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية خلال العام 2017.

5-1 بروتوكول CAN :

صُمم في البداية من قبل مهندسي شركة Robert Bosch GmbH عام 1986 من أجل عربات الطرقات، لحل مشاكل الكابلات الناشئة عن تزايد استخدام المكونات المعتمدة على المعالجات الصغيرة ، ولكن يتم الآن استخدامه في تطبيقات مختلفة.

يدعم CAN اتصالات الزمن الحقيقي وهو ذو وثوقيه عالية وتكلفة منخفضة نسبياً. تبلغ السرعة القصوى لنقل البيانات في هذا البروتوكول 1Mb/s، وتتعلق السرعة بعوامل مختلفة منها طول الناقل ونوع السلك المستخدم وعدد العقد وكمية البيانات التي ترسلها كل عقدة [8]. وهو ينقل المعطيات بشكل تسلسلي ، و يعتمد في عمله على محتوى الرسالة وأولويتها ولا يعتمد على العنوان الفيزيائية أو المنطقية، حيث أن كل العقد المرتبطة مع بعضها البعض بواسطة ناقل CAN Bus، تستلم كل البتات التي يتم إرسالها عبر الناقل ولكن تختار كل عقدة الرسائل الموجهة لها عن طريق معرف الرسالة (Message Identifier). حيث يحتل معرف الاطار الحقل الثاني من الإطار ويمكن أن يكون 11 بت وذلك في نسخة بروتوكول CAN 2.0A أو 29 بت (11 بت أصلية + 18 بت موسعة) وذلك في نسخة بروتوكول CAN 2.0B.

إنّ لمعرّف الرسالة هوية فريدة على كل الشبكة، فإذا تمّ تحديد عقدة ما لكي ترسل إطاراً ذو معرّف معيّن فلا يمكن لأيّ عقدة أخرى موجودة على نفس الناقل استخدام نفس المعرّف في رسائلها، و لكن يمكن أن تستخدم العقدة في رسائلها عدّة معرّفات. ويكون لكل نوع من الرسائل معرّف خاصّ بها، ويتمّ استخدام هذه الطريقة لمنع التصادم على الناقل فيكون للعقدة صاحبة الرسالة ذات الأولوية الأعلى الأحيّة في الإرسال أولاً [9]. تمتلك الأطر ذات المحددات الأقل قيمة الأولوية الأعلى. إن استخدام آلية إرسال/ استقبال الأطر اعتماداً على حقل المحدد ومبدأ الأولوية يتيح الدخول إلى الوسط المشترك بآلية لا تؤدي إلى ضياع الأطر أو تصادمها. و الشكل (1) يوضّح بنية إطار بروتوكول CAN:



الشكل (1): بنية إطار بروتوكول CAN [9]

2-5 تقنية ZigBee:

صممت تقنية ZigBee من قبل ZigBee alliance [10] وذلك لأغراض التحكم وخاصةً من أجل شبكات الحساسات اللاسلكية ذات معدلات نقل البيانات المنخفضة والاستهلاك المنخفض للطاقة، فهي تتميز باستهلاك طاقة منخفض وعمر بطارية طويل كما تتميز بقدرتها على التكامل مع الأنظمة الأخرى والسهولة في نشر العقد لذلك تعد من أكثر معايير التشبيك اللاسلكي الصناعي شعبية. كما أن لها قدرة على نقل البيانات بشكل آمن وفعال حيث أنها تستخدم خوارزمية (CSMA-CA) من أجل منع التصادم و الوصول للقناة وذلك يتيح لها العمل مع مرشد لاسلكي للمزامنة، حيث يتم تجزئ وسط الدخول زمنياً والذي يسمى الدخول المتعدد بتحسس الحامل المجزأ Slotted CSMA-CA.

تعد تقنية ZigBee مناسبة لتطبيقات التحكم بالمنشآت الصناعية التي لا تحتاج لنقل معطيات بمعدلات عالية، نظراً لمعدلات الإرسال المنخفضة التي يدعمها هذا البروتوكول ويتم ذلك باستخدام 16 قناة جزئية تعمل عند ثلاث مجالات ترددية مختلفة هي على التوالي 2.4GHZ و 915MHZ و 868MHZ بمعدلات إرسال 250kbps و 40kbps و 20kbps على التوالي. إن استخدام ZigBee لطبقتي mac و phy الخاصتين ببروتوكول IEEE 802.15.4، يجعل من الشبكة قادرة أن تعالج أي عدد من العقد وبذلك فإن ZigBee يتميز بسهولة في وضع جغرافية الشبكة التي يمكن أن تكون نجمية أو خطية أو مختلطة ويمكنها من إضافة أو إزالة عقد بسهولة، الأمر الذي يسهل أيضاً من صيانتها عند حدوث عطل معين. إن استخدام مرشد لا سلكي يتيح استخدام الإطار الرئيس super frame

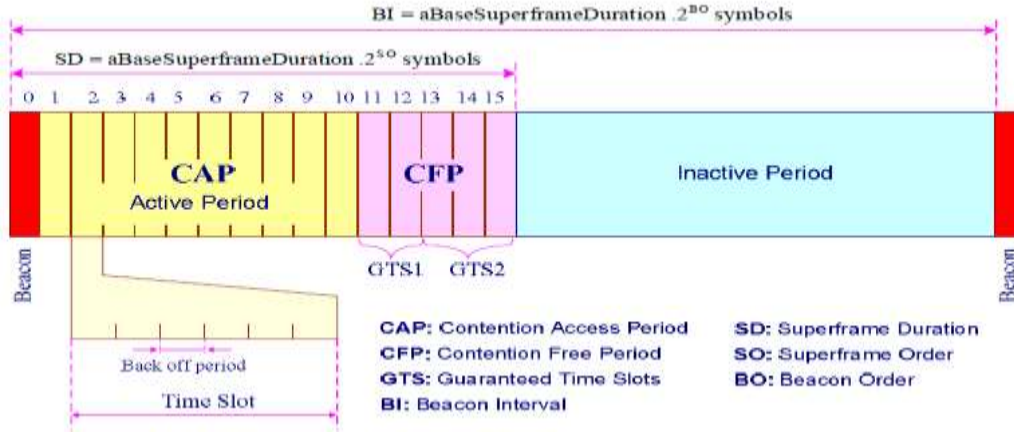
حيث ينقسم إطار ZigBee الى فترتين أحدهما نشطة والأخرى غير نشطة وهذا يفيد في خفض استهلاك الطاقة وإطالة عمر البطارية.

يتحدد زمن الإطار الرئيس كما هو موضح في الشكل (2) في ZigBee بالفاصل الزمني بين إشارتي مناريتين متتاليتين ويمكن حسابه اعتماداً على قيمة كل من ترتيب المنارة (BO) وترتيب الإطار الكلي (SO) Super Frame Order.

هذه الفترة تتحدد بالعلاقتين :

$$BI = aBaseSuperFrameDuration \cdot 2^{BO} ; 0 \leq BO \leq SO$$

$$SD = aBaseSuperFrameDuration \cdot 2^{SO} ; 0 \leq SO \leq BO$$



الشكل (2): بنية إطار ZigBee في نظام العمل بالمنارة [10]

حيث أن aBaseSuperFrameDuration هي القيمة الصغرى لزمن الإطار الرئيس وذلك عندما SO=0 .

3-5 ربط بروتوكولي ZigBee/CAN Bus

لربط البروتوكول CAN و البروتوكول ZigBee يجب تصميم بوابة هجينة تدعم البروتوكولين معاً

ولتحقيق ذلك يجب مراعاة عدد من الأمور الأساسية [11]:

- الفرق في حجم إطار ZigBee وحجم إطار CAN.
- يتعامل البروتوكول ZigBee مع عناوين منطقية لإيصال الرسالة إلى الهدف المحدد في حين يتعامل البروتوكول CAN مع معرف الرسالة لإيصالها إلى الهدف المحدد.
- الفرق في معدل نقل البيانات بين البروتوكولين.
- التأخير الزمني الواسطي للرسالة من لحظة إرسالها إلى لحظة استلامها.

تم اقتراح تصميم طبقة تطبيق مشتركة تدعم بوابة عبور الأطر بين البروتوكولين حيث تتكون البنية

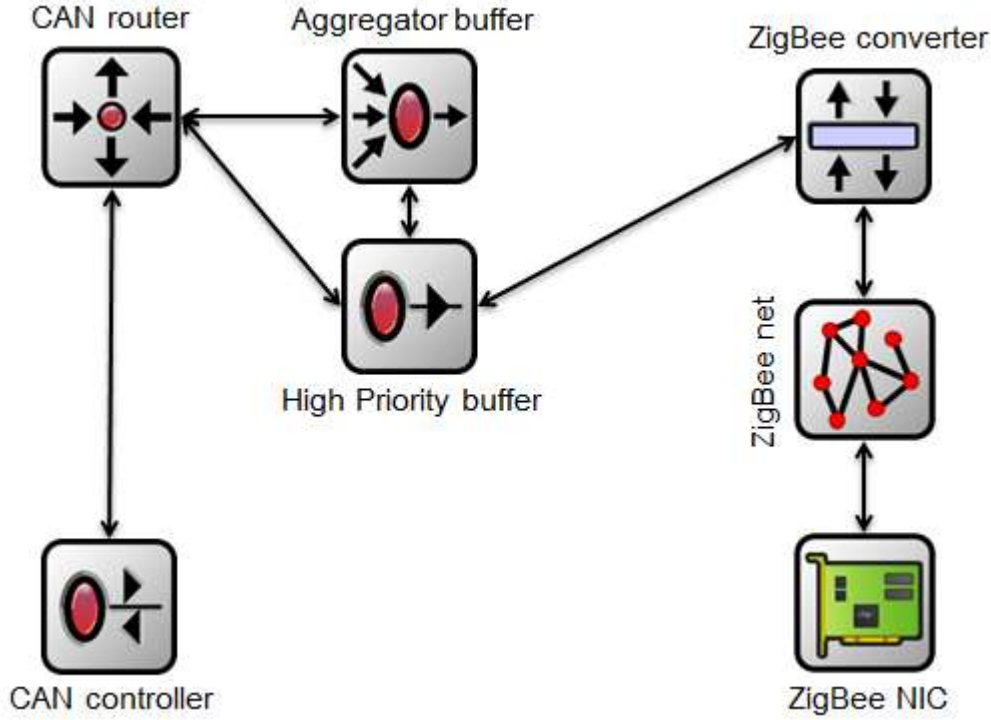
التصميمية للبوابة الهجينة من قسمين : قسم سلكي يمثل طبقات البروتوكول CAN ويقوم باستلام وإرسال رسائل CAN وهو مزود بذاكرة تخزين للرسائل من النوع FIFO والقسم الآخر هو قسم لاسلكي يمثل طبقات البروتوكول ZigBee ويقوم باستلام وإرسال رسائل ZigBee وهو أيضا مزود بذاكرة تخزين للرسائل حتى تتم معالجتها من النوع (Drop)

(Tail Queue)، يتم تبادل الأطر بين القسمين بواسطة طبقة التطبيق حيث أن وظيفتها الأساسية هي تجميع وفك تجميع الرسائل.

4-5 آلية عمل البوابة:

تستقبل طبقة التطبيق الرسائل من عقد الحساسات عبر البروتوكول CAN وهنا يتم اتخاذ أحد قرارين وفقاً لأولوية الرسالة المتعلقة بمعرف هذه الرسالة، فإذا كانت ذات أولوية عالية تقوم البوابة بوضع الرسالة ضمن رسالة ZigBee وإرسالها مباشرة إلى منسق الشبكة. أما إذا كانت هذه الرسالة ذات أولوية عادية وتحتمل الانتظار وقتاً ريثما تتم معالجتها فإنه يتم وضعها ضمن ذاكرة مؤقتة يتم فيها تجميع رسائل CAN لإرسالها ضمن اطار ZigBee واحد، وذلك في حالة وصول عدد الرسائل إلى الحد الاعظمي الذي يمكن تجميعه ضمن هذا الإطار أو عندما ينقضي زمن المؤقت المحدد تبعاً لصلاحية الرسائل القادمة من الحساسات . يوضح الشكل (3) بنية البوابة الهجينة حيث تتكوّن من:

- متحكّم CAN يمثل طبقة ربط البيانات في CAN وله قدرة على ترشيح رسائل CAN الواردة إلى الشبكة ويحتوي على رتل من نوع FIFO من أجل كل ناقل متّصل بالبوابة.
- موجّه داخلي CAN router يعمل وفق جدول توجيه ليقرّر وجهة رسالة CAN الواصلة من عقد التحسّس وأولويّتها تبعاً لمعرف الرسالة، فإذا كانت ذات أولويّة عالية يرسلها إلى ذاكرة مؤقتة خاصّة تدعى High Priority Buffer، أمّا إذا لم تكن الرسالة ذات أولويّة عالية فإنّه يرسلها إلى ذاكرة التجميع المؤقتة أيضاً يستقبل هذا الموجّه رسائل CAN القادمة من المنسق بعد فك تجميعها من قِبل محوّل الرسائل ZigBee converter ويقوم بتوجيه الرسالة إلى الناقل الخاصّ بها تبعاً لمعرفها.
- ذاكرة تخزين مؤقتة Aggregator Buffer تقوم بتجميع رسائل CAN لتوضع في رسالة ZigBee واحدة، وتمتلك بارامترين هما زمن تجميع الرسائل وعدد الرسائل المجمّعة.
- ذاكرة مؤقتة خاصة برسائل CAN عالية الأولويّة High Priority Buffer تقوم بإرسال رسائل CAN المهمّة الواصلة من CAN router مباشرة لحظة وصولها دون انتظار وتستخدم هذه الذاكرة رتلاً من نوع FIFO .
- محوّل رسائل ZigBee Converter يقوم بفك تجميع رسائل ZigBee وإرسالها إلى الموجّه مروراً ب High Priority Buffer ليرسلها بدوره إلى هدفها أيضاً يقوم بتضمين الرسائل المجمّعة في رسالة ZigBee واحدة أو تضمين الرسالة عالية الأولويّة مباشرة في رسالة ZigBee واحدة ومن ثمّ إرسالها إلى طبقة الشبكة الخاصّة ب ZigBee.
- طبقة الشبكة الخاصّة ب ZigBee.
- بطاقة واجهة الشبكة التي تحوي على الطبقة الفيزيائيّة و طبقة MAC الخاصّتين ببروتوكول ZigBee.



الشكل (3): بنية البوابة الهجينة (CAN-ZigBee Gateway)

5-5 بنية رسالة ZigBee الجديدة:

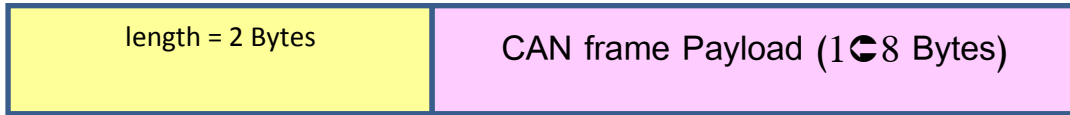
لوضع رسائل CAN ضمن رسالة ZigBee نحن بحاجة إلى طريقة لفصل الإطارات ومعرفة أي إطار مرسل من أي عقدة لذلك قمنا بتغيير بنية حمل إطار ZigBee ليصبح كما يلي:

- يمثل البايت الأول من الإطار عدد رسائل CAN التي تحملها رسالة ZigBee.
- تضمين إطارات CAN بعد البايت الأول من حمل إطار ZigBee حيث يخصص أول 2 بايت من الإطار من أجل المعرف 11 بت يضاف إليها عدد البيانات التي يحملها هذا الإطار ثم تضمّن بيانات إطار CAN وتكرّر هذه العملية من أجل كل إطار CAN. والشكل (4) يوضّح بنية الحمل (payload) المجمع في إطار ZigBee.

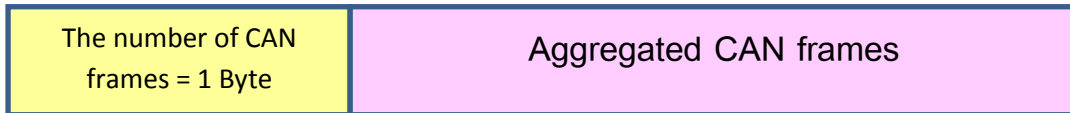
5. الدراسة التجريبية:

تم اختيار منشأة افتراضية مناسبة لتطبيقات الزمن شبه الحقيقي مكونة من أربع دفيئات ومركز خاص للمراقبة والتحكم وتحتوي المنشأة على:

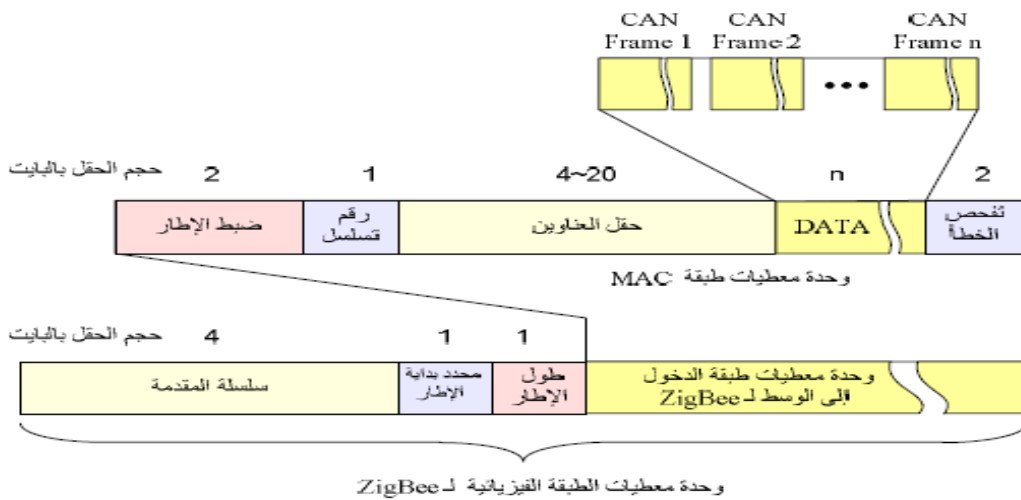
- أربع دفيئات تحوي 24 ناقل CAN (6 نواقل في كل دفيئة).
- 192 عقدة CAN (حساسات ومشغلات) وتحتوي كل دفيئة على 48 عقدة.
- 4 بوابات (CAN-ZigBee) هجينة (بوابة لكل دفيئة).
- مركز تحكم ومراقبة يحوي على منسقات الشبكة و تنقل إليه الإشارات من مختلف الأجزاء وترسل إشارات إلى مختلف الأجزاء العاملة.



The aggregated CAN frame structure



The aggregated ZigBee Payload structure



الشكل (4): بنية الحمل المجمع في إطار ZigBee

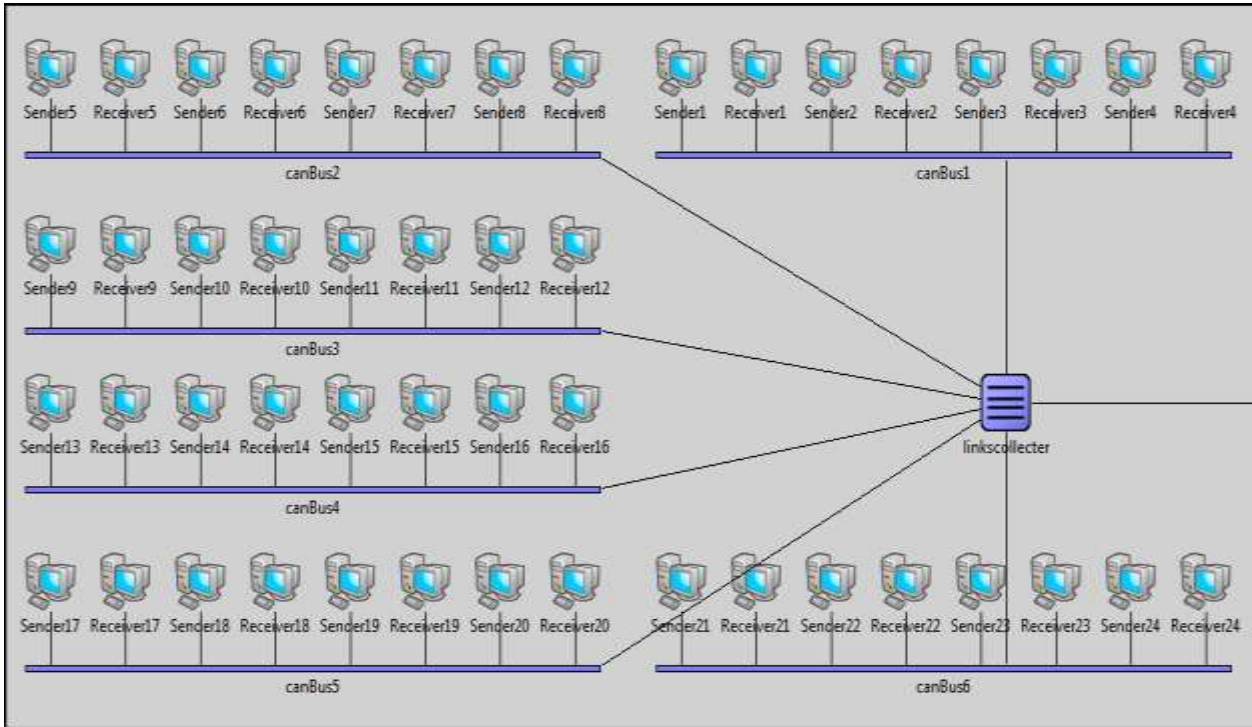
6-1 شبكة نقل البيانات المقترحة:

قمنا بتصميم شبكة خاصة لكل دفيئة مؤلفة من 6 نواقل CAN وعدد افتراضي من العقد (48 عقدة لكل دفيئة) حيث ترتبط جميع النواقل ببوابة هجينة واحدة خاصة بالدفيئة. تتواصل البوابات الهجينة مع مركز التحكم والمراقبة عن طريق المنسق الموجود ضمن هذا المركز حيث قمنا باستخدام البنية النجمية للشبكة، لذا نحن بحاجة هنا إلى استخدام مرشد لاسلكي (منارة) وهذا جيد من أجل تحقيق التزامن وزيادة الوثوقية. ويوضح الشكل (5) بنية شبكة نقل البيانات المقترحة والشكل (6) يوضح بنية شبكات CAN Bus داخل الدفيئة الواحدة.

تمت دراسة ثلاثة سيناريوهات مختلفة لعمل الشبكة وقد حرصنا في السيناريوهات المختلفة على المحافظة على نفس عدد الحساسات والمشغلات. وعلى أن يتم تغيير دور توليد الأطر بحيث يزداد عدد الأطر المولدة في واحدة الزمن. تتيح هذه الفرضية تقييم بارامترات الأداء وفقاً لأحمال متغيرة. حيث اعتمدنا في تقييم الأداء على مجموعة من بارامترات الأداء التي تكتسب أهمية خاصة في مثل هذه التطبيقات، وهذه البارامترات هي:



الشكل (5): بنية شبكة نقل البيانات المقترحة



الشكل (6): بنية شبكات CAN bus داخل الدفيئة الواحدة

2-6 بارامترات الأداء:

1-2-6 متوسط نفاذية الشبكة :Average network throughput

وهو متوسط إرسال المعطيات الحقيقي في الشبكة و يمثل في قيمته العظمى سعة الإرسال لهذه الشبكة وهو مرتبط بعدة عوامل مثل حمل الشبكة والاختناقات والتصادمات. 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 واحدة الزمن. كما يمكن قياسها بعدد الرزم أو الأطر التي تستطيع الشبكة نقلها في واحدة الزمن.

2-2-6 تأخير الإطار الوسطي :Average frame Delay

التأخير الزمني للإطار هو الزمن اللازم للإطار كي يصل من مصدره إلى هدفه. وسيتم احتساب هذا الزمن بالنسبة لإطارات CAN ضمن القسم السلكي (CAN bus) كقيمة وسطية تبعاً للزمن ويضاف إليه القيمة الوسطية للتأخير الزمني في القسم اللاسلكي (ZigBee) أيضاً يضاف له متوسط التأخير ضمن البوابة .

3-2-6 متوسط ضياع الأطر Average frame lose:

وهو عدد الأطر التي لا تستطيع الشبكة إيصالها إلى هدفها لسبب أو لآخر. ويعبر متوسط عدد الأطر المفقودة عن مدى وثوقية الشبكة فكلما كان هذا العدد صغيراً كلما كانت الشبكة أكثر وثوقية.

4-2-6 نسبة التسليم Delivery ratio:

وهي نسبة الأطر التي تصل إلى هدفها إلى الأطر التي يتم إرسالها من مصدرها.

3-6 بارامترات عمل المحاكى:

قمنا باستخدام محاكي الشبكات OMNeT++ [12] (وهو برنامج مفتوح المصدر غير ربحي يعتمد على المحاكاة المتقطعة للأحداث المحددة بالاعتماد على لغة البرمجة C++) بسبب ملائمته لهذا النوع من الشبكات وإمكانية إضافة بروتوكولات ونماذج جديدة إلى نماذج المحاكى الأصلية إضافة إلى وثوقية نتائجه ودقتها [13] وقمنا بإعداد المحاكى من أجل كل سيناريو ليعمل وفق الجداول التالية :

الجدول (1): مواصفات المرسلات اللاسلكية

المدى	الحسابية	استطاعة الإرسال	التردد	البروتوكول	التقنية
100 m	-90 dbm	1 mW	2.4 GHZ	IEEE 802.15.4	ZigBee

الجدول (2): بارامترات عمل المحاكى الخاصة ببروتوكول ZigBee [14] [15]

البارامتر	السيناريو الأول	السيناريو الثاني	السيناريو الثالث
BO	6	6	6
SO	5	5	5
الزمن بين بداية إرسال كل إطارين من المنسق	0.017 second	0.017 second	0.017 second
الزمن بين بداية إرسال كل إطارين من البوابة	يتوقف على استلام إطارات CAN	يتوقف على استلام إطارات CAN	يتوقف على استلام إطارات CAN
حجم حمل الإطار	81	81	81
طريقة توليد الأطر في المنسق	دورية	دورية	دورية

800 seconds	800 seconds	800 seconds	زمن المحاكاة
5	5	5	عدد العقد
نجمية	نجمية	نجمية	بنية الشبكة
1 mW	1 mW	1 mW	استطاعة الإرسال
100 m	100 m	100 m	المسافة العظمى بين العقد
من عقد التحسس إلى المنسق أو إلى عقد التشغيل	من عقد التحسس إلى المنسق أو إلى عقد التشغيل	من عقد التحسس إلى المنسق أو إلى عقد التشغيل	اتجاه نقل البيانات (حالة المراقبة)
من المنسق إلى عقد التشغيل أو من عقد التحسس إلى عقد التشغيل	من المنسق إلى عقد التشغيل أو من عقد التحسس إلى عقد التشغيل	من المنسق إلى عقد التشغيل أو من عقد التحسس إلى عقد التشغيل	اتجاه نقل البيانات (حالة التحكم)

الجدول (3): بارامترات عمل المحاكى الخاصة ببروتوكول CAN [16] [17]

السيناريو الثالث	السيناريو الثاني	السيناريو الأول	البارامتر
0.4 second or 0.5 second or 0.6 second	0.4 second or 0.5 second or 0.6 second	0.4 second or 0.5 second or 0.6 second	الزمن بين بداية إرسال كل إطارين متتاليين في عقدة حساس
4 شبكات رئيسية 24 شبكة فرعية	4 شبكات رئيسية 24 شبكة فرعية	4 شبكات رئيسية 24 شبكة فرعية	عدد شبكات CAN bus
192	192	144	عدد عقد CAN
8 Bytes	8 Bytes	8 Bytes	حجم حمل الإطار
Version 2.0A	Version 2.0A	Version 2.0A	نوع الأطر
دورية	دورية	دورية	طريقو توليد الأطر

الجدول (4): بارامترات عمل المحاكى الخاصة بالبوابة الهجينة

السيناريو الثالث	السيناريو الثاني	السيناريو الأول	البارامتر
FIFO	FIFO	FIFO	نوع الطابور السلكي في البوابة

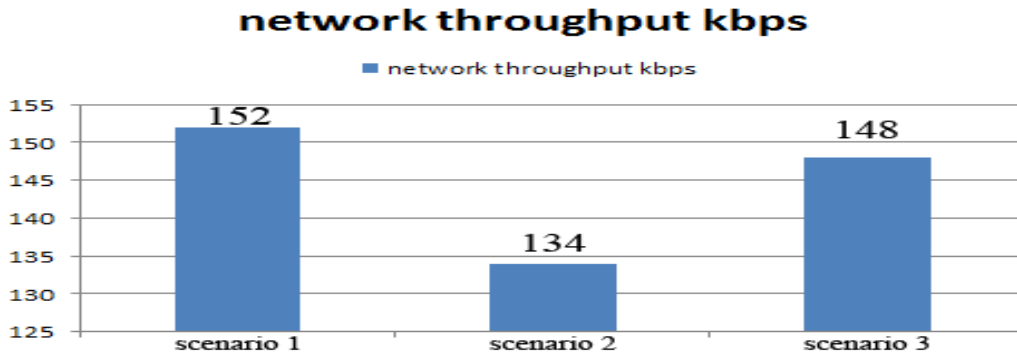
Drop Tail Queue	Drop Tail Queue	Drop Tail Queue	نوع الطابور اللاسلكي في البوابة
100 Frames for every CAN bus	100 Frames for every CAN bus	100 Frames for every CAN bus	حجم ذاكرة المنفذ اللاسلكي المؤقتة في البوابة
200 Frames	200 Frames	200 Frames	حجم ذاكرة المنفذ اللاسلكي المؤقتة في البوابة
0.08 second	0.04 second	0.04 second	زمن انتظار تجميع الأطر في البوابة
8	4	4	عدد الأطر المجمعة
11 Byte (HP F) 11☉81 (A F)	11 Byte (HP F) 11☉81 (A F)	11 Byte (HP F) 11☉81 (A F)	حجم حمل إطار ZigBee المرسل

طبقت المحاكاة وفقاً للسيناريوهات المبينة سابقاً في الجداول وتم استخلاص النتائج من أجل قيم بارامترات التقييم ثم استخدامها في رسم مخططات توضح تغيير أداء الشبكة وفقاً لكل سيناريو مقترح.

6. تحليل أداء الشبكة:

7-1 مقارنة الأداء في السيناريوهات الثلاثة وفقاً لنفاذية الشبكة:

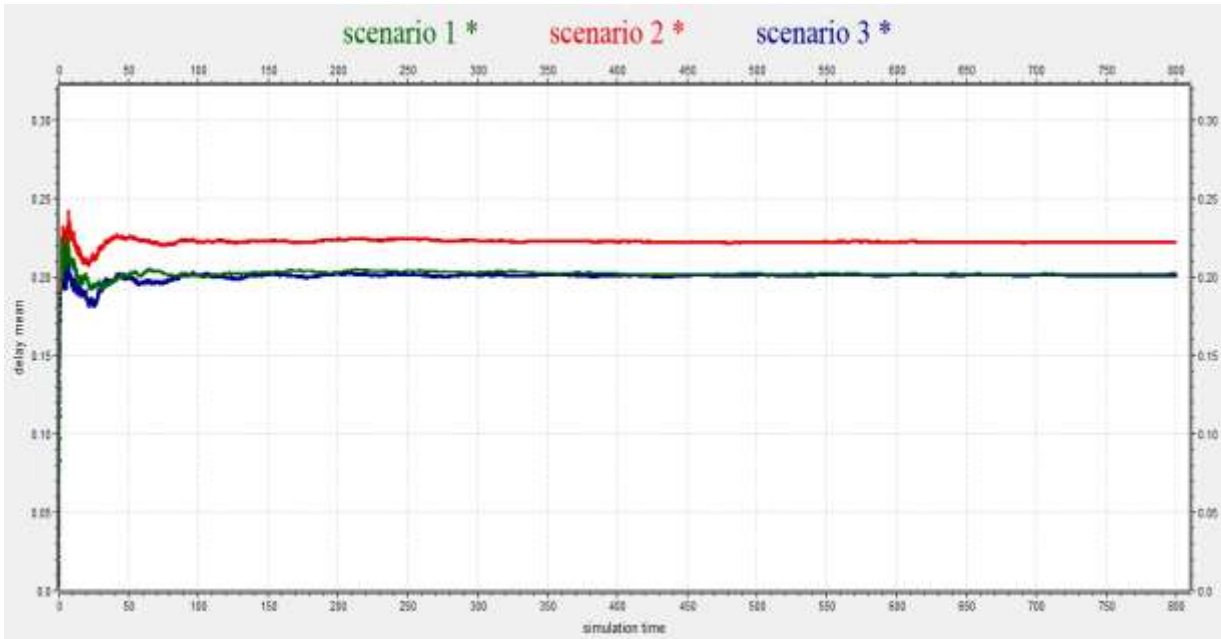
تم أخذ القيمة الوسطى لنفاذية الشبكة مقدرة بعدد البتات التي استلمتها العقد بشكل صحيح في واحدة الزمن. ومباشرة يتضح تأثير زيادة عدد عقد CAN على انخفاض نفاذية الشبكة بسبب زيادة عدد الرسائل الواردة من الحساسات وزيادة عدد الرسائل الصادرة إلى المشغلات لذا تفوق السيناريو الأول على السيناريوين الثاني والثالث من ناحية نفاذية الشبكة، لكن تفوق السيناريو الثالث على الثاني مع العلم أن كليهما عدد العقد نفسه لأن عدد أطر CAN المجمعة ضمن إطار ZigBee واحد قد ازداد مما قلل التصادمات في الشبكة، أيضاً ازداد زمن التجميع في البوابة مما سمح بتجميع عدد أكبر من الإطارات مما قلل عدد إطارات ZigBee وقلل من التصادمات. والشكل (7) يوضح القيم الوسطى لنفاذية الشبكات في السيناريوهات المقترحة .



الشكل (7): القيم الوسطى لنفاذية الشبكات في السيناريوهات المقترحة

7-2 مقارنة الأداء في السيناريوهات الثلاثة وفقاً لمتوسط تأخير الأطر:

استمرت أفضلية السيناريوهات على حالها إلا أنه أصبح واضحاً تفوق السيناريو الثالث على السيناريوهين الأول والثاني. حيث أثر زيادة عدد العقد في السيناريو الثاني على متوسط التأخير الزمني المقاس بالثانية وذلك لزيادة عدد الإطارات المنقولة مما زاد التصادمات ضمن الشبكة ولكن عند زيادة عدد الإطارات المجمعة وزمن التجميع في السيناريو الثالث تحسّن الأداء بشكل ملحوظ وانخفض معدّل التأخير الزمني ليصبح قريباً جداً من معدّل التأخير في السيناريو الأول. بزيادة عدد العقد ازداد الحمل على الشبكة مما سبب زيادة ملحوظة في معدّل التأخير الزمني ضمن الشبكة، لكن ما زال التأخير الزمني يعتبر مقبولاً في تطبيقات الزمن شبه الحقيقي ويعتبر جيداً في تطبيقات الدفيئات الزراعية. والشكل (8) يوضّح معدّل التأخير الزمني للإطار في السيناريوهات المقترحة.

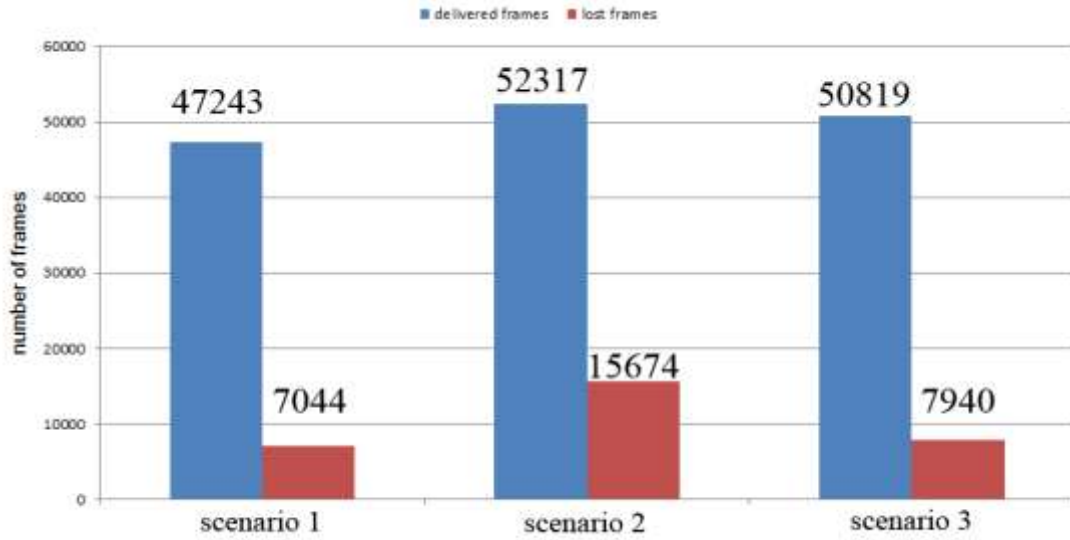


الشكل (8): معدّل التأخير الزمني للإطار في السيناريوهات المقترحة

3-3 مقارنة الأداء في السيناريوهات الثلاثة وفقاً لضياح الأطر:

يبدو واضحاً الضياح الكبير للأطر في السيناريو الثاني وهذا الأمر يعتبر غير مقبول وسببه زيادة عدد العقد مما أدى إلى زيادة الحمل على الشبكة وزيادة عدد الأطر. لكن في السيناريو الثالث عندما ازداد عدد أطر CAN المجمعة وازداد زمن التجميع قلّ عدد الأطر الضائعة بشكل ملحوظ بسبب انخفاض عدد أطر ZigBee وانخفاض عدد

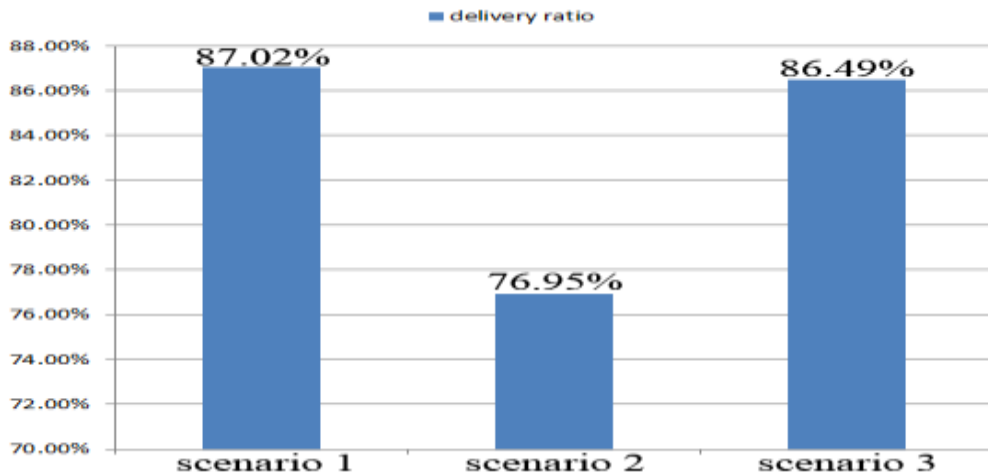
التصادمات. لكن يبقى تفوق السيناريو الأول على الثالث واضحاً من ناحية ضياع الأطر حيث يكون أقصى حدّ لضياع أطر CAN هو أربعة أطر ضمن إطار ZigBee واحد لكن في السيناريو الثالث يمكن أن يحتوي إطار ZigBee على ثمانية أطر CAN مجمعة والشكل (9) يوضّح عدد الأطر المستلمة وعدد الأطر الضائعة في السيناريوهات المقترحة .



الشكل (9): عدد الأطر المستلمة وعدد الأطر الضائعة في السيناريوهات المقترحة

4-7 مقارنة الأداء في السيناريوهات الثلاثة وفقاً لنسبة التسليم:

نجد أنّ السيناريو الأول تفوق على السيناريو الثالث هنا من ناحية الوثوقية، لكن جاءت نتائج السيناريو الثاني غير جيّدة مقارنة بالسيناريوهين الأول والثالث حيث أثار زيادة عدد الأطر والأحمال في الشبكة بشكل كبير على نسبة تسليم الأطر لعدم مقدرة الأطر أحياناً على حجز حيز زمني وبسبب زيادة عدد التصادمات والضغط على الشبكة. والشكل (10) يوضّح نسب التسليم المختلفة في السيناريوهات المقترحة.



الشكل (10): نسب التسليم المختلفة في السيناريوهات الثلاثة

7. الاستنتاجات والتوصيات:

1- بين تحليل السيناريوهات الثلاثة أن التأخير الزمني من رتبة 10^{-1} ثانية وهذا يعني أنها ملائمة لتطبيقات أنظمة الزمن شبه الحقيقي .

2- بيّنت الدراسة أنّ للسيناريو الثالث أفضليّة على السيناريوهين الأوّل والثاني من حيث عدد العقد ومعدّل التأخير الزمني، لكن يتفوق السيناريو الأوّل من حيث نسبة التسليم وفعاليّة الشبكة، لذلك ينصح باستخدام السيناريو الأوّل في التطبيقات التي تحتاج عدد حساسات ومشغلات صغير نسبياً مثل التحكم بخط إنتاج ضمن مصنع صغير نسبياً بحيث يكون الفاصل الزمني كبير نسبياً بين إنتاج كل قطعتين متتاليتين .

3- بسبب زيادة عدد الأطر المجمّعة في السيناريو الثالث فإنّ احتمال ضياع عدد أكبر من أطر CAN المنقولة إلى مركز التحكم يزداد ولكن لم تكن زيادة ضياع الأطر كبيرة بما يكفي لتجعل السيناريو الأوّل يتفوق على السيناريو الثالث إذا أخذنا بالحسبان أنّ عدد العقد في السيناريو الثالث أكبر من عدد العقد في السيناريو الأوّل بمقدار 48 عقدة لذلك ينصح باستخدام السيناريو الثالث في التطبيقات التي تحتاج الى عدد عقد كبير مثل التحكم بتوفير الطاقة ضمن بناية كاملة (تكييف الحرارة بين الداخل والخارج، التحكم بالأضواء بين الليل والنهار) .

4- جاءت النتائج بشكل عام جيّدة ومناسبة لموضوع تطبيقات الدفيئات الزراعيّة باستخدام عمود فقري لاسلكي حسن بشكل ملحوظ من أداء الشبكة ومرونتها قدرتها على التغلّب على المشاكل التي تخلقها التمديدات اللاسلكيّة والتي تنشأ عن ظروف عمل المنشأة.

5- بسبب ارتباط المحاكاة والنتائج التي تمّ الحصول عليها بعدد الحساسات والمشغلات ونوع البروتوكولات وطريقة الوصل أكثر من ارتباطها بوظيفة المنشأة فإنّ هذه النتائج يمكن تعميمها على جميع المنشآت التي تماثل شبكاتها في حجمها وتوزّعها وعدد حساساتها.

8. المراجع العلميّة:

- [1] Orazio Mirabella, and Michele Brischetto “A Hybrid Wired/Wireless Networking Infrastructure for Greenhouse Management” IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL. 60, NO. 2, FEBRUARY 2011.
- [2] Liwang Zhu , Shaobo Zhang , Chengzhang Zhu “Research and Design of the Coal Mine Safety Supervision System Based on IOT” 2nd International Conference on Teaching and Computational Science (ICTCS 2014),CHINA.
- [3] Rui P. N. Gomes^{1,2}, Student Member, IEEE, José E. G. Oliveira^{1,2}, and Francisco J. A. Cardoso “Integrating Zigbee and CAN Networks in Industrial Applications” CONFERENCE PAPER JANUARY 2010.
- [4] N.Prakash, N.Magadevi “WIRELESS CAN BUS FOR INDUSTRIAL APPLICATION” International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology Volume 1, Issue 3, May 2012.

- [5] Gregory Jaman , Sajid Hussain "Structural Monitoring using Wireless Sensors and Controller Area Network" Communication Networks and Services Research, 2007. CNSR '07. Fifth Annual Conference on 14–17 May 2007 Page(s): 26 – 34.
- [6] Kavitha. B. , Gopakumar "Real–Time Industrial Parameter Measurement Using CAN, Zigbee and Ethernet Web Server" International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN (Online): 2319-7064,Volume 3,Issue 2, February 2014.
- [7] الدكتور جمال خليفة ،"تحسين أداء شبكة نقل المعطيات الهجينة منخفضة السرعة والمستخدم في المنشآت العاملة في الزمن الشبه الحقيقي" مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _سلسلة العلوم الهندسية ،المجلد 37،العدد 2 ، أيلول 2015 ، 41-60
- [8] Marco Di Natale "Understanding and using the Controller Area Network" October 30, 2008.
- [9] CAN In Automation (CIA), CAN Specification 2.0, Part A and Part B.
[Online]. Available:<http://www.can-cia.de/>.
- [10] ZigBee Alliance, <http://www.zigbee.org>.
- [11] Dr.Boyina.S.Rao, Deepa.k, Abarna.I, Arthika.S, Hemavathi.G, Mohanapriya.D "CONTROLLER AREA NETWORK FOR MONITORING AND CONTROLLING THE ENVIRONMENTAL PARAMETERS USING ZIGBEE COMMUNICATION" International Journal of Advanced Engineering Technology E-ISSN 0976–3945,Vol.3,Issue–2 , April 2012 pp.34–36.
- [12] OMNeT++ Discrete Event Simulator, modular, component–based C++ simulation library and framework, [Online]. Available: <https://omnetpp.org/> .
- [13] Ken Chen, "Performance Evaluation by Simulation and Analysis with Applications to Computer Networks" , February 2015, Wiley–ISTE, ISBN: 978–1–84821–747–8.
- [14] Feng Chen, Nan Wang, Reinhard German and Falko Dressler, "Performance Evaluation of IEEE 802.15.4 LR–WPAN for Industrial Applications," Proceedings of 5th IEEE/IFIP Conference on Wireless On demand Network Systems and Services (WONS 2008), Garmisch–Partenkirchen, Germany, January 2008, pp. 89–96.
- [15] Feng Chen and Falko Dressler, "A Simulation Model of IEEE 802.15.4 in OMNeT++," Proceedings of 6. GI/ITG KuVS Fachgespräch Drahtlose Sensornetze (FGSN 2007), Poster Session, Aachen, Germany, July 2007, pp. 35–38.
- [16] Keigo Kawahara, Yutaka Matsubara and Hiroaki Takada, "A Simulation Environment and Preliminary Evaluation for Automotive CAN–Ethernet AVB Networks",

Proceedings of the 1st OMNeT++ Community Summit (Successor of the International Workshop on OMNeT++), pp. xx-xx, Hamburg, Germany, Sep 2014.

[17] Jun Matsumura, Yutaka Matsubara, Hiroaki Takada, Masaya Oi, Masumi Toyoshima and Akihito Iwai, "A Simulation Environment based on OMNeT++ for Automotive CAN-Ethernet Networks", Proceedings of the 4th International Workshop on Analysis Tools and Methodologies for Embedded and Real-time Systems (WATERS2013), pp.1-6, Paris, France, Jul 2013.

جدول ببعض المصطلحات

بروتوكول للنقل التسلسلي متعدد السيادة يعطي الأولوية في الإرسال عبر الناقل السلكي للرسالة ذات المعرف الأقل	Controller area network protocol	CAN protocol
هو التأخير الزمني الحاصل نتيجة معالجة البيانات أو الإرسال عبر الشبكة وذلك بين لحظة وقوع الحدث واستخدام هذه البيانات المعالجة	Near-real-time	الزمن شبه الحقيقي
الهيكلية التي يتم وفقها توصيل روابط وعقد الشبكة	Network topology	طوبولوجيا الشبكة
خوارزمية تجنب التصادم وهي مناسبة لتجنب التصادم في الأوساط التي تتيح الوصول المتعدد للقناة	Carrier sense multiple access with collision avoidance algorithm	CSMA-CA algorithm
هي الطبقة التي تدعم بوابة العبور ويتم من خلالها التخاطب بين البروتوكولين الهجينين	Application layer	طبقة التطبيق