

تحسين أداء شبكة نقل المعطيات الهجينة منخفضة السرعة والمستخدمة في المنشآت العاملة في الزمن شبه الحقيقي.

الدكتور جمال خليفة*

(تاريخ الإيداع 5 / 2 / 2015. قُبل للنشر في 9 / 3 / 2015)

□ ملخص □

أدى انتشار تطبيق تقنيات نقل المعطيات الحديثة، في مجالات صناعية، وزراعية، وخدمية متنوعة إلى ضرورة نقل هذه المعطيات، ضمن أجزاء المنشآت، بفعالية ومرونة.

يهدف البحث إلى تطبيق آلية هجينة، تعتمد على استخدام تقنية ZigBee، وتقنية CAN Bus معاً، بما يعطي أداء أفضل، وفقاً لمعايير الأداء التي يتطلبها عمل شبكات هذه المنشآت، في الزمن شبه الحقيقي. ومقارنة هذه الآلية مع الآليات المقترحة في أبحاث مشابهة.

يعتمد الحل المقترح استخدام شبكات نقل معطيات هجينة، تعتمد على وصل الشبكات الجزئية، التي تعتمد تقنية CAN Bus، باستخدام عمود فقري لاسلكي يعتمد تقنية ZigBee. واقتراح بنية مناسبة لبوابات العبور بين أجزاء الشبكة الهجينة. أثبتت النتائج أن الآلية المقترحة في هذا البحث أفضل مقارنة بأبحاث مشابهة، وفقاً لمعايير أداء مناسبة لمثل هذا النوع من الشبكات، بما يسمح لنا بالتوصية باستخدام هذه الآلية في التطبيقات الصناعية الخدمية. وقد اعتمد البحث على المحاكى الشبكي NS2 لتقييم النتائج ومقارنتها.

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

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

Improving the performance of data transfer in the hybrid low-speed networks that are used in the near-real time operating establishments.

Dr. Jamal Khalifeh*

(Received 5 / 2 / 2015. Accepted 9 / 3 / 2015)

□ ABSTRACT □

The spread of the modern data transfer techniques, in modern industrial and agricultural applications, and service areas, leads to the need to transfer this data effectively and flexibly, within installations parts.

This research aims to apply the hybrid mechanism, based on the use of ZigBee technology, and CAN Bus together to ensure the best performance, in accordance with the performance indicators required by the networks of these facilities, in near-real time operation. The study attempts to compare this mechanism with other mechanisms proposed in similar research.

The proposed solution supports the use of a hybrid data transfer networks, based on the internetworking of CAN Bus networks, using a backbone based on wireless ZigBee technology. This solution proposes an appropriate structure for gateways between the hybrid parts of the network. The research has concluded that the proposed mechanism preference, compared with the proposed mechanisms in similar research, according to the standards of performance indicators, is suitable for this kind of networks, as it allows us to recommend the use of this mechanism in the service and industrial applications. The NS2 network simulator is used to evaluate and compare the obtained results.

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

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

مقدمة:

انتشر تطبيق تقنيات نقل المعطيات الحديثة في مجالات صناعية وزراعية وخدمية متنوعة. حيث تفرض شروط العمل في كثير من الأحيان أن يتم نقل هذه المعطيات ضمن أجزاء المنشآت لضمان العمل الصحيح لهذا الجزء أو ذاك من المنشأة. كما يتطلب الأمر نقل بعض هذه المعطيات أو كلها أحياناً بين مكونات الأجزاء، ونقلها إلى مركز للتحكم والمراقبة.

تتنوع بيئات التطبيق وتتباين بشكل كبير باختلاف التجهيزات المستخدمة، وباختلاف طبيعة عملها وحركتها وتوزعها. ما يستدعي استخدام تقنيات نقل معطيات مختلفة لتناسب هذا التطبيق أو ذاك. ففي حين إن بعض المنشآت تستخدم الناقل الحلقي Fieldbus بكفاءة وموثوقية عاليتين فإن منشآت أخرى أصبحت تستخدم الطرق اللاسلكية في نقل المعطيات. وتعتمد كثير من المنشآت على استخدام طرق هجينة سلكية/لاسلكية بحيث تستفيد من ميزات وحسنات التوصيل السلكي واللاسلكي بآن معاً [1,2].

اعتمد كثير من التطبيقات على استخدام تقنية ZigBee في نقل المعطيات بين أجزائها، وقد أثبتت هذه التقنية اللاسلكية فعالية عالية في التطبيقات التي لا تتطلب معدلات نقل عالية حين عملها في الزمن شبه الحقيقي [3]. كما لاقى بروتوكول CAN Bus رواجاً كبيراً في التطبيقات الصناعية لما له من ميزات تجمع بين السرعة العالية ودعم تطبيقات الزمن الحقيقي [4]. ولجأ كثير من الباحثين إلى اقتراح تطبيق تقنية هجينة تعتمد على استخدام تقنية ZigBee وتقنية CAN Bus مما ما يعطي أداء أفضل وفقاً لمعايير الأداء التي يتطلبها عمل التطبيقات المعنية.

ففي حين لجأ البعض إلى اقتراح بنية هجينة تستخدم ZigBee كتقنية توصيل بعض الحساسات، التي تعمل كطرفيات، في شبكة نقل المعطيات إلى الناقل المشترك CAN Bus، فإن بعضها الآخر اقترح بناء شبكات فرعية تعتمد تقنية ZigBee. حيث يتم وصل منسقات هذه الشبكات إلى الناقل السلكي المذكور.

إن تعميم تقنية CAN Bus، وتطبيقها في مجالات صناعية كثيرة، أدى إلى تصنيع آلات ومعدات إنتاج تتضمن هذه التقنية. وهذا يطرح بدوره مسألة تشغيل الشبكات الجزئية، لهذه المكونات، ضمن بيئة شبكية عامة لنقل المعطيات، تحوي بنى شبكية أخرى أهمها تلك التي تستخدم ZigBee.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى اقتراح آلية جديدة لعمل شبكات نقل المعطيات العاملة في بيئات التحكم والمراقبة، وذلك بتطبيق بنى هجينة، تعتمد على وصل الشبكات الجزئية، التي تعتمد تقنية CAN Bus، باستخدام عمود فقري Backbone لاسلكي، باستخدام تقنية ZigBee. واقتراح بنية برمجية لبوابات العبور بين أجزاء الشبكة الهجينة. ومقارنة أداء هذه البنية بالبنية المقترحة في أبحاث أخرى، من خلال تقييم معايير، ومؤشرات، معتمدة في مثل هذا النوع من التطبيقات، مثل النفاذية throughput والتأخير الزمني Time delay وعدد الأطر المهملة Dropped Frames أو الخاطئة ونسبة التسليم Delivery ratio. واستنتاج التوصيات القابلة للتطبيق.

طرائق البحث ومواده:

تعتمد طريقة البحث على دراسة الآليات الهجينة، المتبعة في نقل معطيات التحكم والمراقبة، واستنتاج آلية جديدة لنقل المعطيات، واختبارها في بيئات محددة. وذلك من خلال اقتراح سيناريوهات مناسبة لتطبيقات محددة، وإجراء

- المحاكاة في ظروف عمل مشابهه لعمل الشبكة، بما يؤمن نقل معطيات عقد هذه الشبكة إلى نقطة النفاذ الرئيسية، مع دراسة تأثير مجموعة من المعايير التي تؤثر في عمل الشبكة ككل. وعلى وجه التحديد تأثير بنية الشبكة وزيادة الحمل فيها على النفاذية، التأخير الزمني وعدد الرزم المهمل، ونسبة التسليم. ويمكن صياغة طريقة البحث بالخطوات التالية:
- دراسة موقع البحث ضمن الأبحاث التي تعنى بحل نفس المشكلة أو المشاكل المشابهة.
 - اختيار السيناريوهات المناسبة لعمل الشبكة انطلاقاً من واقع عمل بيئات التحكم والمراقبة.
 - وضع وتشغيل نموذج المحاكاة لكل سيناريو اعتماداً على المحاكى الشبكي NS-2.
 - استخلاص النتائج والتوصيات وفقاً للمعايير المطلوبة.

علاقة البحث بالأبحاث المماثلة

اهتم البحث [5] ببناء شبكة مراقبة وتحكم للبيوت البلاستيكية اعتماداً على بنية هجينة CAN Bus/ZigBee، ولكن حله المقترح اعتمد على كون ناقل CAN يربط ثلاث عقد فقط واحدة منها رئيسية. حيث يتم نقل معطيات الرئيسية إلى مركز المعالجة فقط عبر عقدة ZigBee. مما يجعل استنتاجاته صالحة من أجل المنشآت الصغيرة كما أنه قام بالاقترحات دون اختبار للبنية المقترحة وفقاً لبارامترات الأداء.

طبق الباحثون في [6] التقنية الهجينة CAN Bus/ZigBee لنقل معطيات منشآت الطاقة الكهربائية إلى غرفة التحكم اعتماداً على الوصل اللاسلكي بين مقطعي CAN Bus حيث تجهز عقدة بمرسل ومستقبل ZigBee لتقوم بمهمة العقدة الرئيسية في كل مقطع وذلك بدءاً من الوصل المباشر CAN Bus.

قدم البحث [7] حلاً لنقل معطيات الإنذار والمراقبة من أجل العمل الآمن لمناجم الفحم، يعتمد على استخدام بنية هجينة CAN Bus/ZigBee. ولكن الشبكة في هذا الحل تتكون من مقطعين فقط، مقطع سلكي يعتمد على استخدام CAN Bus، ومقطع لاسلكي يعتمد على استخدام ZigBee. وقد اهتم البحث بتطوير عقدة CAN Bus لتتمكن من تسليم معطياتها للمقطع اللاسلكي. وبالرغم من مناسبة هذه الشبكة لعمل المناجم إلا أنها لا تناسب المنشآت التي تعتمد على استخدام مقاطع شبكية متعددة.

أما في البحث [8] فقد تمت دراسة التطبيق الجزئي للبنية الهجينة في البيئة الصناعية من أجل المراقبة والتحكم لنقل معطيات بعض الحساسات إلى المتحكم المركزي. ونقل معطيات المتحكم المركزي إلى بعض المشغلات. بما يعطي أداء أفضل لهذه الأجزاء. ولكن البحث لم يتطرق إلى تعميم تطبيق هذه الدراسة على كامل المنشأة.

تطرق البحث [9] إلى حل مشكلة كاملة أجزاء من التجهيزات مع بعضها، من خلال استخدام شبكة هجينة. واقترحت الدراسة تطبيق بروتوكول تحويل وحدات المعطيات ليناسب عمل بوابات العبور، وعلى الأخص عند نقل معطيات شبكة ZigBee إلى شبكة CAN Bus وليس العكس. وما يرافق ذلك من مشكلات تتعلق بالتأخير والمزامنة، وضياح أجزاء من وحدة معطيات ZigBee. ويؤمن ذلك ناقلاً رئيسياً CAN Bus لمجموعة من عقد التحسس العاملة وفق ZigBee.

تطرق كل من العاملين العلميين [10 و 11] إلى موضوع الشبكات الهجينة CAN Bus/ZigBee وتطبيقاتها المنخفضة السرعة في مجالات محددة مثل التحكم والمراقبة للبيوت البلاستيكية. وقد اقترح الباحثون شبكات متكاملة تعتمد على عمود فقري CAN Bus ومجموعات من الحساسات ترتبط كل منها ببوابة ZigBee/CAN Bus، مع ربط المشغلات مباشرة إلى العمود الفقري. وقد أتاحت هذه التقنية ربط الحساسات والمشغلات في بيئة البيوت البلاستيكية

ببعضها البعض، مع أداء مناسب لمثل هذه التطبيقات. واقترح الباحثون استخدام جسر من أجل الوصل بين الأجزاء السلكية واللاسلكية. ولكن هذه الطريقة لا تناسب التطبيقات التي يتم فيها تركيب أجزاء أو آلات مزودة بشبكات تحكم داخلية مضمنة تعتمد تقنية CAN Bus، ومن هذه التطبيقات الآلات المستخدمة في خطوط الإنتاج ومضخات المياه العاملة وهي تحتاج إلى استخدام بنية نقل معطيات تسمح بنقل معطيات الناقل الحقلي على مستوى الآلات المنفصلة وربطها مركزياً.

يواجه الربط الهجين لشبكات هذه التجهيزات بحيث إن عمودها الفقري سلكي CAN Bus مجموعة من المشاكل والمعوقات أهمها:

1- تحرك بعض هذه الآلات والتجهيزات أو أجزاء منها مما يجعل الربط السلكي غير مجد بل وعرضة للأعطال في كثير من الحالات.

2- وجود التجهيزات على شكل مجموعات منفصلة مما يجعل وصلها سلكياً في بيئة يكثر فيها حركة الآلات والأشخاص، حلاً غير عملي ولا يضمن سلامة التوصيلات.

3- يحد الوصل السلكي في كثير من الأحيان بين هذه التجهيزات من إمكانية إعادة التشكيل والتموضع بما يناسب تغيير بنية خطوط الإنتاج هذه.

4- وقوع بعض التجهيزات في مثل هذه المنشآت على مسافة بعيدة نسبياً عن بعضها بعضاً يجعل من استخدام الناقل CAN Bus أمراً غير ذي جدوى لانخفاض معدلات الإرسال التي يسمح بها عند ازدياد المسافة عن الحد اللازم لنقل هذه المعطيات بالزمن شبه الحقيقي.

لهذه الأسباب مجتمعة نقترح أن يتم استبدال هذه البنية الهيكلية ببنية هجينة أخرى، يتم فيها استخدام الناقل CAN Bus على المستوى الحقلي. وهذا يناسب بنية الآلات الحديثة المعتمدة على بروتوكول CAN Bus. واستخدام عمود فقري لشبكة نقل المعطيات مكون من شبكة ZigBee نجمية.

بنى شبكات ترأسل المعطيات باستخدام تقنية CAN و تقنية ZigBee:

طور بروتوكول CAN Bus من أجل نقل معطيات الزمن الحقيقي في التطبيقات المتعلقة بصناعة السيارات، ومن ثم تمت الاستفادة منه في التطبيقات الصناعية بشكل عام لما له من ميزات. تختلف متطلبات نقل المعطيات في شبكات المنشآت التي تحوي عدداً من التجهيزات المعتمدة على تقنية CAN Bus عن متطلبات نقل المعطيات في كل من هذه التجهيزات على حده. سنقوم في هذا البحث بدراسة إمكانية استخدام شبكة هجينة تعتمد في المستوى الحقلي على شبكات CAN Bus، وتعتمد على مسوى عمودها الفقري شبكة ZigBee. وسيتم التطرق إلى آليات التجسير بين الشبكات الحقلية والعمود الفقري، ومناقشتها، ومقارنتها مع الطرق المقترحة في الأبحاث المذكورة أعلاه.

بروتوكول CAN Bus:

صمم بروتوكول CAN من قبل مهندسي شركة Robert Bosch GmbH في عام 1986 للربط ما بين عناصر التحكم في العربات أساساً. يسمح هذا البروتوكول بتنسيق عمل شبكات التحكم ذات المحطات الرئيسية المتعددة multi-master [12]. وضعت مواصفات هذا البروتوكول القياسية Version 2.0 ثم تم تقسيمها إلى جزئين، المواصفات القياسية Version 2.0A التي تستخدم 11 خانة (bit) كمحدد للعملية وبالتالي للعقدة المرسله أو المنفذة لعملية التحكم هذه. بينما المواصفات القياسية Version 2.0B، تستخدم 29 خانة لهذا المحدد. ووضعت بنى

الأطر المستخدمة في كلتي الحالتين. يسمح هذا البروتوكول بنقل معطيات بسرعة تصل إلى 40 Mbps عند مسافات صغيرة بحدود 40 m ولكن هذه السرعة تتخفض كثيراً مع ازدياد المسافة [10].

هذا البروتوكول هو بروتوكول للنقل التسلسلي للمعطيات يعتمد في عمله على محتوى الرسالة وأولويتها ولا يعتمد على العنوان الفيزيائية أو المنطقية. ويتم إيصال وحدات المعطيات اعتماداً على محدد الرسالة Message identifier المحتواة في وحدة معطياته. إذ يتم بث الإطار في ناقل الشبكة لتلقظ كافة المحطات، ولكن المحطة التي تخزنه وتعالجه وتستخدمه، هي المحطة التي يعينها محتوى الرسالة ضمن وحدة المعطيات، والذي يتم معرفته من محدد الرسالة. يمثل حقل محدد الرسالة ضمن وحدة المعطيات أهمية وألوية الرسالة وبالتالي أهمية الإطار الذي يحويها. إذ تمتلك الأطر ذات المحددات الأقل قيمة الأولوية الأعلى. يتيح استخدام آلية إرسال استقبال الأطر اعتماداً على حقل المحدد ومبدأ الأولوية الدخول إلى الوسط المشترك بآلية لا تؤدي إلى ضياع الأطر أو تصادمها بسبب ذلك. حيث تتم مقارنة الأطر وفقاً للمحدد ويفوز بالدخول إلى الوسط الإطار ذو المحدد الأقل قيمة.

يبين الشكل (1) بنية إطار هذا البروتوكول، حيث يتكون حقل المحدد من 11 bits، ويتكون حقل طول الإطار DLC من 4 bits ويستطيع الإطار أن يتضمن حملاً صافياً بحجم حتى 8 bytes . وبحسب [13] فإن طول الإطار

$$L = 47 + 8 + DLC + \left\lceil \frac{34+8 \times DLC}{4} \right\rceil$$

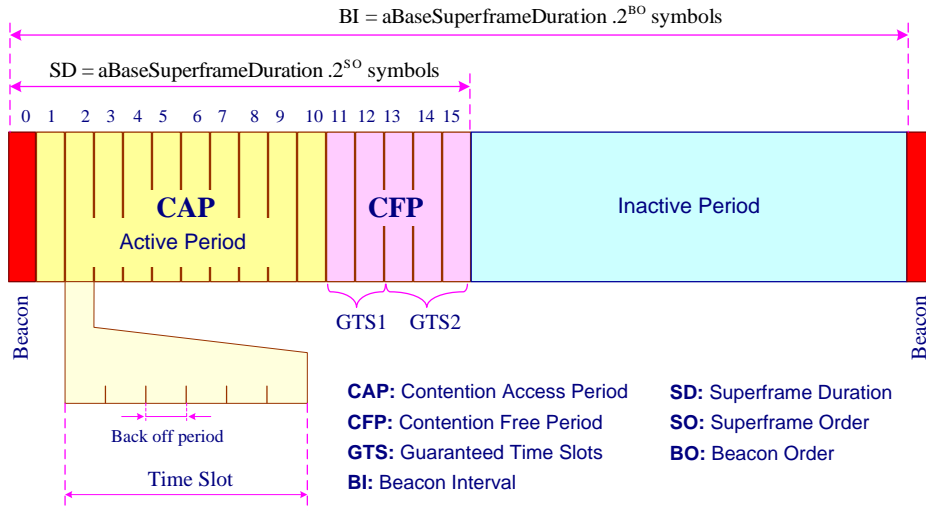


الشكل (1): بنية إطار CAN Bus

بروتوكول ZigBee:

يمكن تطبيق تقنية ZigBee باستخدام بنى متعددة منها النجمية والخطية والمختلطة وغيرها. حيث ترسل المعطيات باستخدام هذا البروتوكول إلى مسافات قصيرة تتراوح بين عدة أمتار وعشرات الأمتار وتتجاوز مسافات الإرسال في بعض التصميمات الحديثة هذا المجال. ويتم ذلك باستخدام 16 قناة جزئية تعمل عند ثلاثة مجالات ترددية مختلفة هي 2.4GHz و 915 MHz و 868 MHz بمعدلات إرسال 250 kbps و 40 kbps و 20 kbps على التوالي. ينظم عمل هذه التقنية مجموعة متكاملة من البروتوكولات يستخدم منها على مستوى الطبقتين الأدنى البروتوكول المحدد بالمعيار IEEE 802.15.4 [14]. ويحدد هذا البروتوكول خوارزميات الدخول إلى الوسط ومنها CSMA-CA والنموذج المعدل منه والذي يعتمد على تجزئة وسط الدخول زمنياً والذي يسمى الدخول المتعدد بتحسس الحامل المجزأ Slotted CSMA-CA.

يمكن التمييز عند تطبيق تقنية ZigBee بين السيناريوهات التالية للإرسال [14]. الإرسال من الجهاز إلى المنسق، والإرسال من المنسق إلى الجهاز، الإرسال من جهاز إلى جهاز. وفي جميع هذه الحالات يمكن تطبيق آلية المنارة لمزامنة عمل المستويات المختلفة من التأطير Framing وتكون بنية الإطار الكلي في هذه الحالة كما هو مبين في الشكل (2).



الشكل(2): يبين بنية إطار ZigBee في نظام العمل بالمنارة.

تعد تقنية ZigBee مناسبة جداً لعدد كبير نسبياً من المشتركين لإرسال معطياتهم بمعدلات إرسال بطيئة نسبياً، مما يجعلها قابلة للاستخدام في تطبيقات الزمن شبه الحقيقي. وهذا يناسب العمل في بيئات التحكم المقترحة في هذا البحث.

يتحدد زمن الإطار الرئيس في ZigBee بالفاصل الزمني بين إشارتي منارتي متتاليتين. ويمكن حسابه بالاعتماد على قيمة كل من ترتيب المنارة (BO) وترتيب الإطار الكلي Super frame order (SO) وذلك باستخدام العلاقتين التاليتين:

$$BI = aBaseSuperframeDuration .2^{BO}; \quad 0 \leq BO \leq 14 \quad (1)$$

$$SD = aBaseSuperframeDuration .2^{SO}; \quad 0 \leq SO \leq BO \quad (2)$$

حيث إن aBaseSuperframeDuration هي القيمة الصغرى لزمن الإطار الرئيس وذلك عند $SO=0$ وهذه القيمة هي [14] 15.36 ms وهذا ما يعطي الإمكانية لإرسال 250 kbit/s باستخدام المجال الترددي المخصص عند التردد [11] 2.4 GHz.

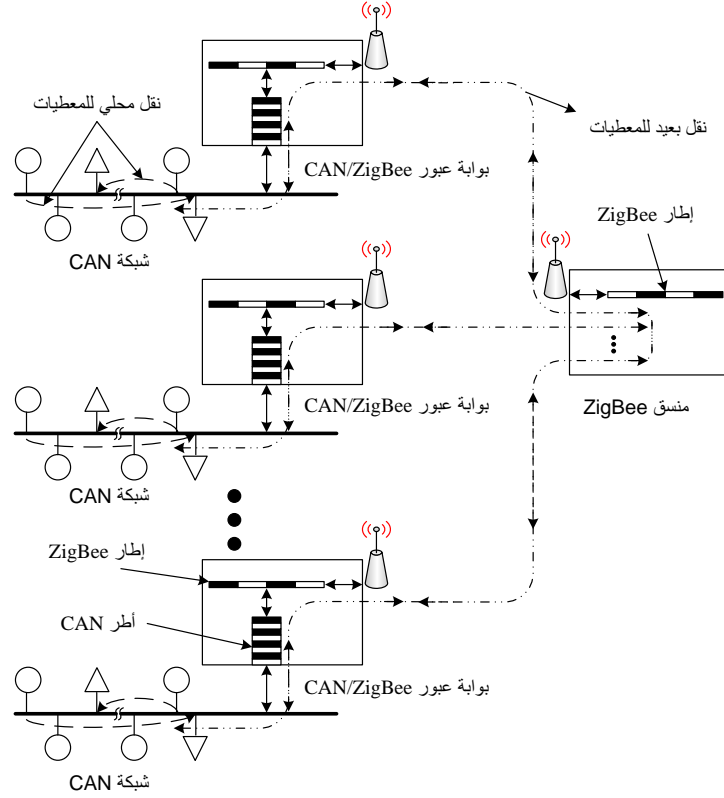
تشبيك ZigBee/CAN Bus

يستخدم الحل المقترح في هذا البحث تشبيكاً هجيناً ZigBee/CAN Bus يعتمد على استخدام بوابات تقوم بتحويل الأطر بين البروتوكولين المختلفين، كما هو مبين في الشكل(3). تمتلك كل بوابة منفذين أحدهما خاص بالبروتوكول ZigBee والآخر بالبروتوكول CAN، ويزود كل منهما بمخزن للأطر buffer. حيث تتم معالجة الأطر في المخزن وفقاً لمبدأ FIFO.

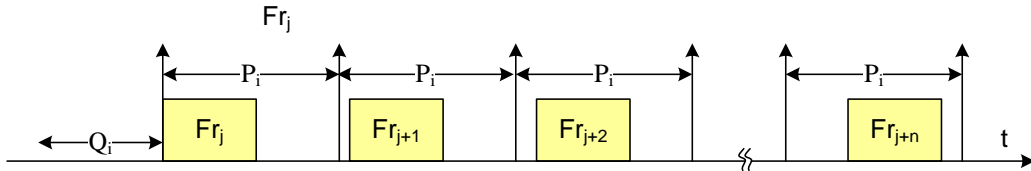
تقوم البوابة باستقبال أطر CAN BUS وتضمينها في حقل معطيات ZigBee من أجل نقلها إلى العقد البعيدة في الشبكة وإلى عقدة التحكم الرئيسية عبر شبكة ZigBee وذلك باستخلاص معطيات أطر ZigBee وتجزئتها إلى أطر CAN Bus.

يتم إرسال وتبادل أطر CAN Bus بشكل مستمر بين أجزاء الشبكة البعيدة والمباشرة. وهناك أكثر من إستراتيجية يمكن أن تطبق حين التعامل مع هذه الأطر من حيث ترتيبها وتنسيقها. إذ أن هذه الأطر تصل من منابعها في أزمان غير متساوية كما هو مبين في الشكل (4). وفي الوقت نفسه فإن زمن هذه الأطر F_{rj} هو نفسه من أجل

جميع العقد. وهذا يفرض تخصيص أزمان إرسال لهذه الأطر P_i أثناء وضعها ضمن الدور العام Q_i لإرسالها بعد تضمينها في حقل معطيات إطار ZigBee. سنلجأ في بحثنا إلى توليد الأطر دورياً، وهذا ما يتيح المحاكى المستخدم NS2.



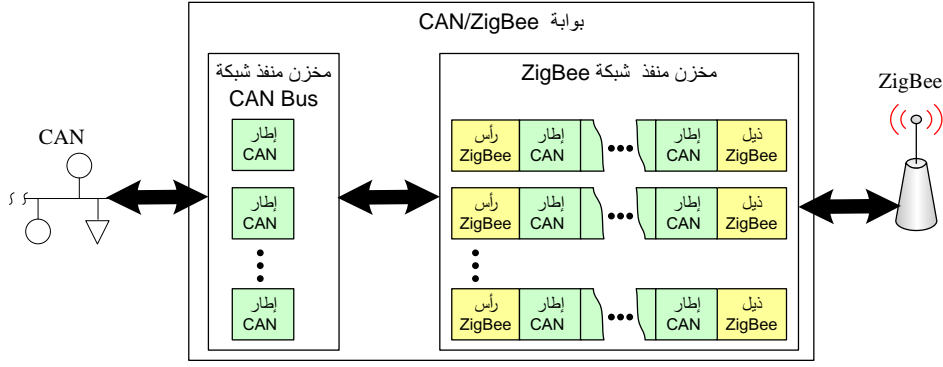
الشكل(3): يبين آلية تشكيل الأطر في البوابة.



الشكل(4): يبين تتالي أطر CAN Bus في أزمان مختلفة.

آلية عمل البوابة:

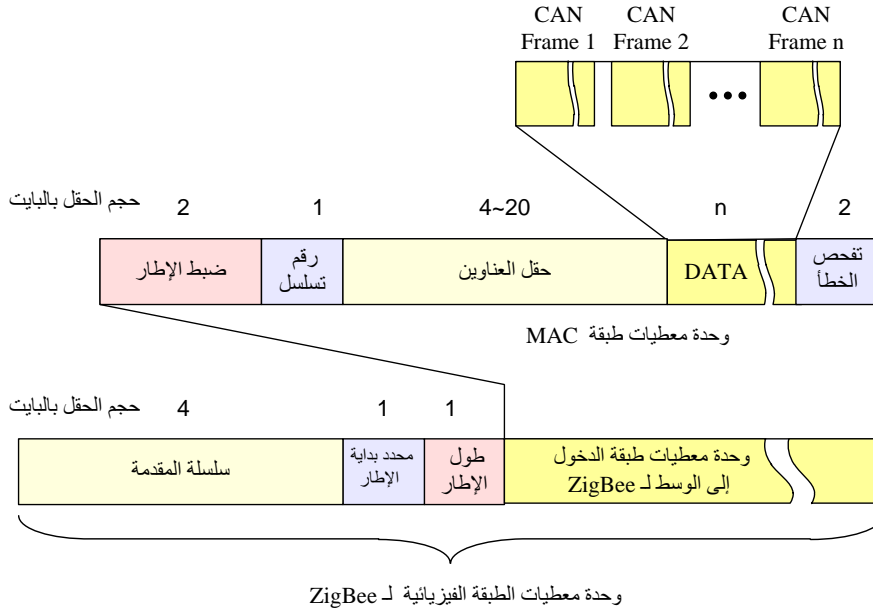
مهمة كل بوابة، في الشبكة، هي تضمين أطر CAN Bus، التي تدخل مخزن المنفذ الموصول إلى الناقل السلكي، في حقل معطيات الأطر التي ستنتظر دورها في المخزن الموصول إلى شبكة ZigBee، كي تبث لاسلكياً، وذلك كما في الشكل (5). كما تقوم باستخلاص المعطيات الموجودة في حقل المعطيات أطر ZigBee التي يتم استقبالها وتوزيعها إلى أطر CAN Bus ووضعها في مخزن المنفذ الموصول إلى الناقل السلكي.



الشكل(5): آلية تحويل الأطر في بوابة CAN/ZigBee.

كما يبين الشكل(6) طريقة تضمين أطر CAN Bus في حقل معطيات إطار ZigBee. ويوضح هذا الشكل أن هذه الأطر، والتي يمكن أن يكون عددها إطاراً واحداً أو أكثر حسب ما سنرى لاحقاً، ستوضع كما هي دون استخلاص حقل المعطيات فقط. وهذا يتيح اختصار الزمن اللازم لمثل هذه العملية، سواء أثناء التغليف أو الاستخلاص.

يبلغ حجم إطار ZigBee حجماً أعظماً هو 128 bytes، وبحجم معطيات صافي يتراوح بين 2 bytes و 112 bytes الأمر الذي يسمح لنا بتضمين إطار واحد CAN Bus أو عدد من الأطر ضمن إطار ZigBee واحد.



الشكل(6): تضمين أطر CAN Bus في حقل معطيات إطار ZigBee.

تعتمد قيمة التأخير الكلي الحاصل بين النهايات المتراسلة بشكل كبير على آلية التعامل مع هذه الأطر، وطريقة تحويلها، ومدى انتظارها في أماكن التخزين المذكورة. من المعروف أن إطار CAN Bus يعتمد على محتوى الرسالة. أي أنه يعمل في الوصول إلى الهدف على محدد الرسالة المضمنة وليس على عنوان فيزيائي محدد، كما هو الأمر في إطار ZigBee ولذلك فإن الحل المقترح بتضمين أطر CAN Bus ضمن أطر ZigBee يمكن أن يتم وفق آليتين.

تعتمد الأولى على إرسال كل إطار CAN Bus ضمن إطار ZigBee منفرد. وتعتمد الثانية على إرسال أكثر من إطار CAN Bus ضمن إطار ZigBee واحد.

تمتاز الطريقة الأولى باختصارها للزمن، إذ لا تنتظر أطر CAN Bus في مخزن البوابة أي زمن بهدف اكتمال عدد الأطر التي يتسع لها حقل المعطيات في إطار ZigBee. ولكن سيئتها أن تحتاج إلى إرسال كثير من المعطيات الزائدة والمتمثلة في إضافة رأس وذيل إطار ZigBee إلى كل إطار CAN Bus وهذا يقلل من مردود الإرسال.

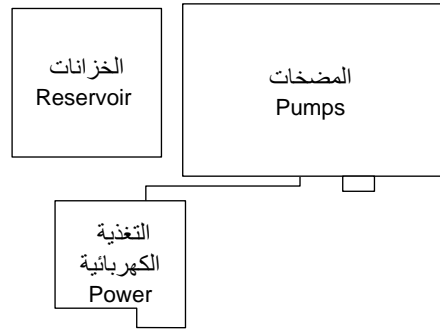
على العكس من ذلك فإن الطريقة الثانية تمتاز بزيادة مردود الإرسال حيث إن كل مجموعة أطر CAN Bus تحتاج لرأس وذيل إطار ZigBee واحد. ولكن سيئتها تكمن في زيادة زمن الانتظار إلى حين اكتمال استقبال العدد الكافي من أطر CAN Bus التي يجب نقلها. مما يزيد من زمن التأخير الأمر الذي لا يمكن تجاهله في أنظمة الزمن الحقيقي ولا حتى في أنظمة الزمن شبه الحقيقي. ولذلك عمدنا إلى استخدام طريقة توليد الأطر دورياً بما ينفي الحاجة إلى معالجة هذا الأمر، إذ سيتم توليد الأطر في بحثاً بشكل دوري ومستمر وسيكون لجميع الأطر نفس الطول وسيكون الزمن الفاصل بين كل إطارين متتاليين لنفس العقدة متساوياً، وهذا الأمر ليس له تأثير في صحة الاستنتاجات.

تعمل شبكة ZigBee وفقاً لبنية مختلطة إذ إن عدد العقد في الشبكة لا يتجاوز عدداً محدوداً، وبالتالي لا يستخدم فيها نظام المنارة وهذا يقلل من مستوى الحمل الفائض Overhead، ويجعل التطبيق أكثر ملائمة لتطبيقات الزمن الحقيقي موضوع هذا البحث.

جميع العقد في الشبكة تعمل وفق نظام أفضلية واحد بمعنى أن محدد الرسائل، وبالتالي محدد الأطر يعمل وفق نظام محدد مسبقاً لكل حساس أو عقدة. وسنعد أن المنظومة تعمل وفق ستة مستويات من الأهمية تبدأ بمستوى بوابات العبور ذات الأهمية الأعلى ورقم المحدد الأدنى وتنتهي بالحساسات الحقلية الطرفية ذات الأهمية الأدنى ورقم المحدد الأعلى. وتعطى الحساسات الحقلية مستويي أهمية، وتعطى المشغلات ثلاثة مستويات من الأهمية، حسب طبيعة عمل المشغل وأهمية الإشارة التي يحملها الإطار. وتمتلك هذه المشغلات جميعها مستويات أهمية أعلى من مستويات الأهمية الخاصة بالحساسات أياً كانت. كما تمتلك البوابة المرتبطة بمركز المعالجة الأهمية الأعلى في المستوى الأول. وسيتم لحظ هذا الأمر أثناء إعداد المحاكى.

الدراسة التجريبية:

سعت الدراسة التجريبية في هذا البحث إلى اختيار منشأة يمكن أن يتم تطبيق التحكم في الزمن شبه الحقيقي فيها بفعالية. ومثل هذه المنشأة يمكن أن تكون أية محطة من محطات ضخ المياه العاملة في المؤسسة العامة للمياه في مدينة اللاذقية. لذلك جرى الاطلاع على واقع هذه المحطات من خلال الزيارات المتكررة إلى هذه المحطات. تشترك محطات الضخ فيما بينها بتشابه المكونات بشكل عام وعدم تطابقها من حيث عدد هذه المكونات. قمنا بالاطلاع على المخططات التحكمية الموضوعية للمحطات، وعلى بنية المحطات ووضعنا مخططاً لمحطة ضخ يمكن عدها نموذجاً عاماً من أجل تطبيق الدراسة عليه كما هو مبين في الشكل (7). وقد تبين أن المواقع في المحطة تحوي على الأجزاء الوظيفية المبينة في الشكل (8) وقد راعينا في هذا النموذج أن يكون محتوياً على كافة العناصر والآليات التي يمكن أن تحويها محطات المياه التي تعمل في مثل هذه الظروف من أجل نفس الوظائف. ويمكن تطبيق هذا النموذج على كافة المحطات الأخرى في أي من مشاريع الإرواء المستخدمة في المؤسسة العامة للمياه في اللاذقية، بتعديل بسيط يتطلب منا حذف بعض الوظائف فقط دون الحاجة إلى إضافة أي وظيفة أو آلية جديدة.



الشكل (7): الشكل العام لموقع محطة ضخ المياه.

كما قمنا بدراسة آلية عمل كل مكون من المكونات الموجودة في نموذج المحطات، واستنتاج عدد الحساسات والمشغلات التي تضمن العمل السليم لهذه المكونات ضمن نظام عمل متكامل للمحطة، وهذا ما تم لحظة أثناء إعداد سيناريو المحاكاة.

تتألف كل محطة من المكونات التالية التي تشكل كل منها وحدة مستقلة وظيفياً تتم مراقبتها والتحكم بتشغيلها باستخدام مجموعة من الحساسات والمشغلات، وهي:

1. مجموعات الضخ العاملة والاحتياطية: وعدد هذه المضخات لا يزيد في أية دورة تشغيل عن خمس مضخات.

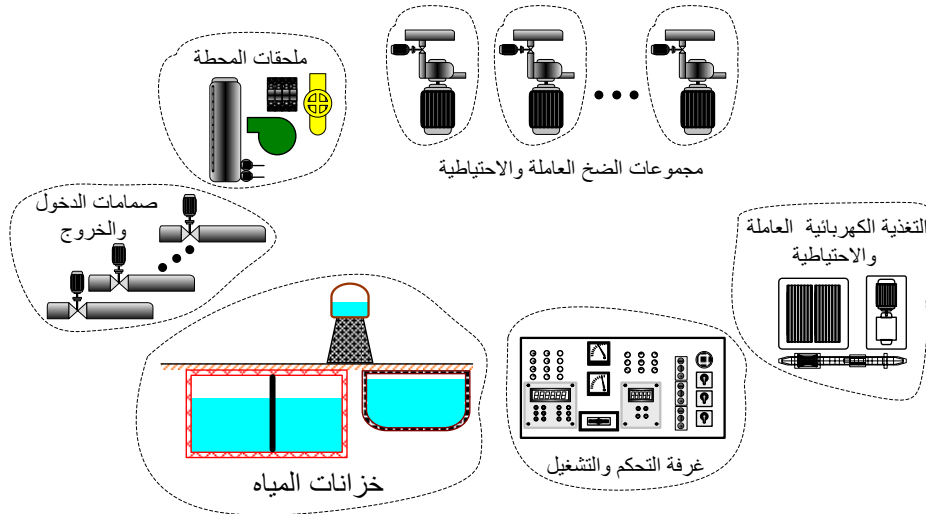
2. مجموعة التغذية الكهربائية العاملة والاحتياطية.

3. خزانات المياه وما تحويه من صمامات وملحقات تحكمية متعلقة بمستوى المياه وحالتها وتعقيمها.

4. صمامات الدخول والخروج ومراقبة حالة الأنابيب الداخلة والخارجة وجريان وضغط وتسرب الماء في هذه الأنابيب.

5. ملحقات خاصة بالمحطة مجموعة من العناصر التي يجب أيضاً مراقبتها والتحكم بها مثل المطرقة المائية، وخزانات الوقود، وحالات المحطات السابقة والتالية لمحطة الضخ المعنية والتي يتم استقبال الإشارات منها بطرق هي خارج موضوع الدراسة. ولذلك تم عد هذه الإشارات وكأنها مولدة محلياً أو مطبقة محلياً وتم إدخالها في الدراسة على أنها ناتجة عن حساسات محلية أو موجهة للتحكم بمشغلات محلية.

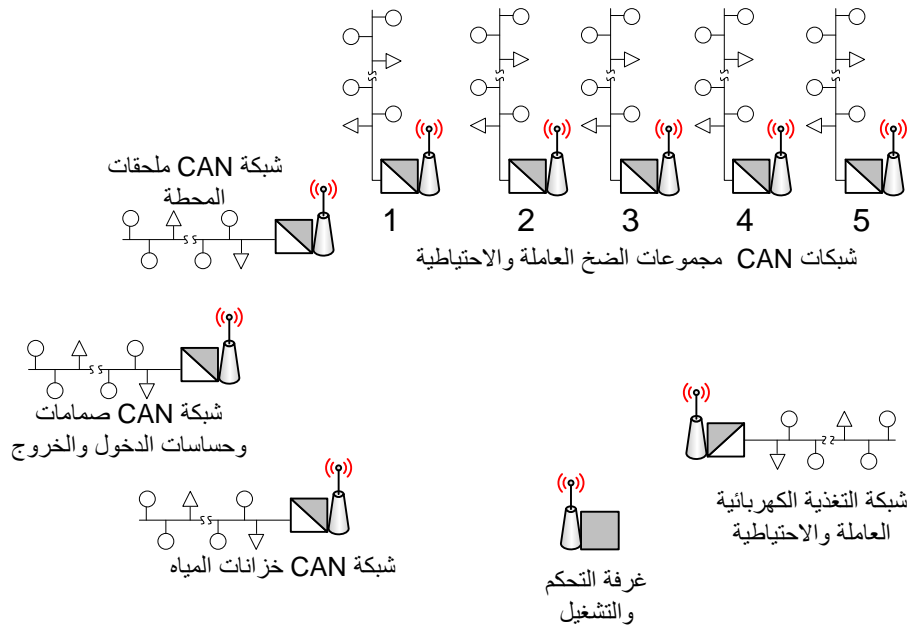
6. غرفة التحكم والمراقبة المركزية والتي تنقل إليها الإشارات من مختلف الأجزاء وترسل إشاراتها إلى مختلف الأجزاء العاملة.



الشكل(8): المكونات الوظيفية لمحطة الضخ.

شبكة نقل المعطيات التحكمية المقترحة:

بعد دراسة وضع المحطات وآلية عملها، وعدد الحساسات والمشغلات، تم اقتراح أن تكون شبكة نقل المعطيات التحكمية، وفقاً للآلية المشار إليها أعلاه، وحسب التعديل المقترح. بحيث يتم الاعتماد في كل مجموعة تشغيلية منفصلة على شبكة CAN Bus، وبحيث يستخدم للربط بين هذه الشبكات باستخدام شبكة لاسلكية تعتمد على ZigBee. ويبين الشكل (9) بنية الشبكة العامة المقترحة.

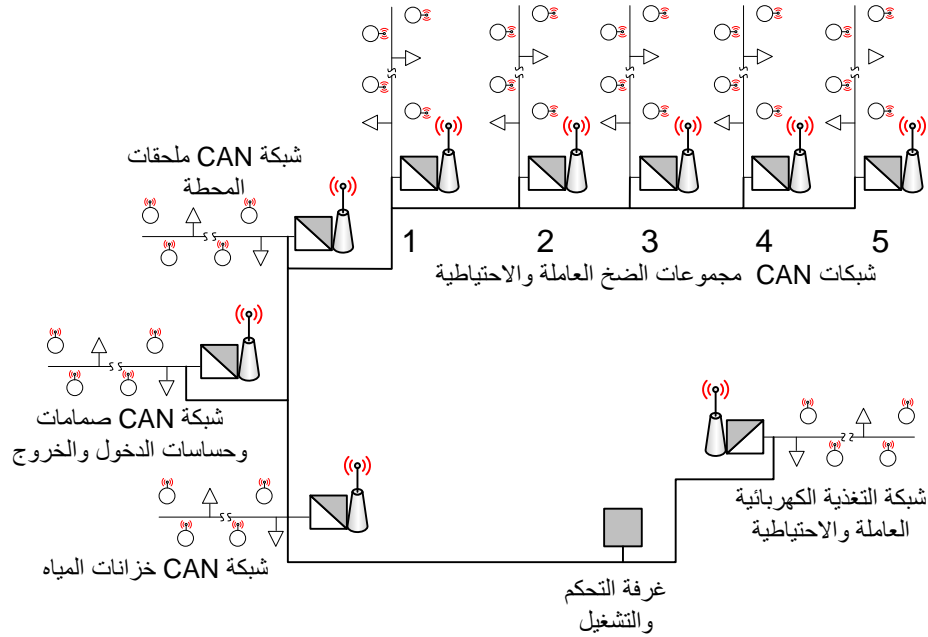


الشكل (9): بنية شبكة نقل المعطيات العامة المقترحة

طبقتنا في محاكاة عمل هذه الشبكة آليتي العمل المنوه عنهما سابقاً، وفق سيناريوهين. يطبق في السيناريو الأول تضمين كل إطار CAN Bus ضمن إطار ZigBee منفرد. وتم في السيناريو الثاني تضمين أكثر من إطار CAN Bus ضمن إطار ZigBee واحد.

كما تم اختبار عمل الشبكة وفقاً لسيناريو ثالث مشابه لما هو مقترح في البحثين [10] و [11] لتشابه واقع عمل الشبكة المقترحة مع واقع عمل هاتين الشبكتين من حيث معدلات الإرسال وعدد الحساسات والمشغلات وتوزعها وحجم الشبكات. وبما يتيح مقارنة أداء الحل المقترح مع نموذج مماثل في هذين البحثين والنموذج الشبكي وفقاً لهذا السيناريو مبين في الشكل (10). وقد اعتبرنا في جميع الحالات أن حجم إطار CAN Bus هو 100bits وهذا مناسب لواقع عمل المحطات حيث إن كل إطار يقوم بنقل معطيات خاصة بحساس واحد أو بمشغل واحد. وتسمح لنا هذه الفرضية أن نقوم في السيناريو الثاني بتضمين أربعة أطر CAN Bus ضمن كل إطار ZigBee.

تسمح خيارات المحاكاة في بيئة المحاكى NS2 باختيار آلية توليد الرزم بحيث تكون دورية أو وفق جدول محدد أو عشوائية. وقد اخترنا أن تكون هذه الآلية دورية. وسيوفر علينا هذا الاختيار تعقيدات غير ضرورية مرتبطة بترتيب الأطر وانتظار وصول أربع أطر CAN Bus في مخزن البوابة، لتضمينها في إطار ZigBee كما هو مذكور في السيناريو الثاني. حيث أن زمن توليد الأطر سيكون واحداً لجميع الأطر وكذلك الفاصل الزمني بين توليد كل إطارين متتاليين، وبالتالي فإن أطر ZigBee على خرج البوابة ستكون دورية أيضاً.



الشكل (10): بنية الشبكة العامة وفقاً للسيناريو المشابه لما هو موجود في البحثين [10] و [11]

حرصنا في السيناريوهات المختلفة على أن يتضمن الحل نفس عدد الحساسات والمشغلات. وعلى أن يتم تغيير دور توليد الأطر وبحيث يزداد عدد الأطر المولدة في واحدة الزمن. وهذه الفرضية تتيح لنا تقييم بارامترات الأداء وفقاً لأحمال متغيرة في هذه السيناريوهات. حيث اعتمدنا في تقييم الأداء على مجموعة من بارامترات الأداء التي تكتسب أهمية خاصة في مثل هذه التطبيقات، وهذه البارامترات هي:

متوسط نفاذية الشبكة :Average network throughput

وهو متوسط إرسال المعطيات الحقيقي في الشبكة ويمثل في قيمته العظمى 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 لأحمال العالية، بسبب الاختناقات والتصادمات وغيرها. يمكن قياس النفاذية بعدد البتات التي تستطيع الشبكة نقلها بشكل صحيح في وحدة الزمن. كما يمكن قياسها بعدد الرزم أو الأطر التي تستطيع الشبكة نقلها في وحدة الزمن. وقد قمنا باعتماد الأخير.

متوسط التأخير الزمني الذي يتعرض له الإطار :Average frame Delay

التأخير الزمني للإطار هو الزمن اللازم للإطار كي يصل من منبعه إلى مستقره. وسيتم احتساب هذا الزمن بالنسبة لأطر CAN Bus التي يتم توليدها والتي تتضمن المعطيات المطلوبة. ولن يتم تقييم التأخير الزمني لأطر ZigBee إذ إنها تعمل كناقل وسيط وسيكون تأخيرها الزمني متضمناً في قيمة التأخير الزمني لأطر CAN Bus. ومتوسط التأخير الزمني في هذه الحالة هو القيمة المتوسطة لتأخير الأطر مأخوذاً من أجل جميع الأطر على كامل زمن المحاكاة، ومن أجل عدد مرات المحاكاة.

متوسط ضياع الأطر :Average frame lose

وهو عدد الأطر التي لا تستطيع الشبكة إيصالها إلى مستقرها لسبب أو لآخر. ومن أسباب فقدان الأطر تخامد الإشارة ومشغولية العقد والتصادم. يعبر متوسط عدد الأطر المفقودة عن مدى وثوقية الشبكة فكلما كان هذا العدد صغيراً كانت الشبكة أكثر وثوقية وأفضل أداءً.

نسبة التسليم :Delivery ratio

وهي نسبة الأطر التي تصل إلى مستقرها إلى الأطر التي يتم إرسالها من منابعها. وقد اعتمدنا على تقييم هذه البارامترات على دراسة تغيراتها مع تغير حمل الشبكة Network load، وهو عدد الأطر التي يتم إرسالها حقيقة في الشبكة في وحدة الزمن بما في ذلك تلك التي لا يتم إيصالها وتلك التي يتم إعادة إرسالها لسبب أو لآخر.

يسمح المحاكى NS2 ببناء الشبكة وفق السيناريوهات المبينة أعلاه ومحاكاة عملها [15]. وقد اختيرت القيم التي يعمل عندها المرسل وفق بروتوكول IEEE 802.15.4 لتكون كما في الجدول (1) وقد تم اعتماد هذه القيم انطلاقاً من القيم الحقيقية لمواصفات وشروط عمل أجهزة تراسل ZigBee [14]:

الجدول (1): مواصفات مرسل العقدة

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

كانت الخطوة الآتية أننا قمنا بتهيئة المحاكى ليعمل وفق بارامترات الجدول (2).

الجدول (2): بارامترات عمل المحاكى

بارامترات ZigBee	
القيمة	البارامتر
6	BO: ترتيب المناورة (للسيناريو الثالث)
5	SO: ترتيب الإطار الكلي (للسيناريو الثالث)
0.5 sec.	الزمن بين بداية إرسال كل إطارين في عقد التحسس
السيناريو الأول: 32Bytes	حجم الإطار
السيناريو الثاني: 128 Bytes	
السيناريو الثالث: 32 Bytes	
السيناريو الأول: دورية كل إطار CAN	طريقة توليد الأطر
السيناريو الثاني: دورية كل أربعة إطارات CAN	
السيناريو الثالث: دورية	زمن المحاكاة
900 sec	عدد العقد
السيناريو الأول: 10	
السيناريو الثاني: 10	
السيناريو الثالث: 135	بنية الشبكة
السيناريو الأول: مختلط	
السيناريو الثاني: مختلط	
السيناريو الثالث: نجمي	استطاعة الإرسال
0.05 W	
10	عدد مرات المحاكاة
200 متر	المسافة العظمى بين العقد
من عقد التحسس إلى المنسق	اتجاه نقل المعطيات (حالة المراقبة)
من المنسق إلى عقد التشغيل	اتجاه نقل المعطيات (حالة التحكم)
بارامترات CAN Bus	
0.5 sec.	الزمن بين بداية إرسال كل رزميتين في كل عقدة تحسس
9	عدد شبكات CAN Bus
السيناريو الأول: 180	عدد العقد
السيناريو الثاني: 180	
السيناريو الثالث: 55	
100 bits	حجم الإطار (الجميع السيناريوهات)

Version 2.0A	نوع الأطر
دورية	طريقة توليد الأطر
بارامترات البوابة CAN Bus/ZigBee	
FIFO	نوع الطابور في البوابة
16 k bytes	حجم مخزن المنفذ السلبي في البوابة
32 kbytes	حجم مخزن المنفذ اللاسلكي في البوابة
125 kbps	معدل لإرسال
6 مستويات بحيث يكون المستوى الأعلى للبوابة	عدد مستويات الأحيوية في شبكات CAN Bus
السيناريو الأول: 0.3 ms	زمن معالجة الأطر في البوابة
السيناريو الثاني: 1ms	
السيناريو الثالث: 1ms	

كما قمنا بتهيئة الشبكة في المحاكى انطلاقاً من الاعتبارات الآتية:

- تتصل شبكة ZigBee العاملة كعمود فقري لشبكات CAN Bus وفقاً لبنية مختلطة mesh بما يعني عن استخدام المنارة.

- تعمل شبكات ZigBee على مستوى الشبكات الفرعية في السيناريو الثالث وفقاً لبنية النجمة، وبحيث تكون البوابة هي العقدة المركزية. وهذا بسبب ضرورة مرور معطيات هذه الشبكات عبر البوابات. وستعتمد هذه الشبكات على استخدام المنارة.

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.

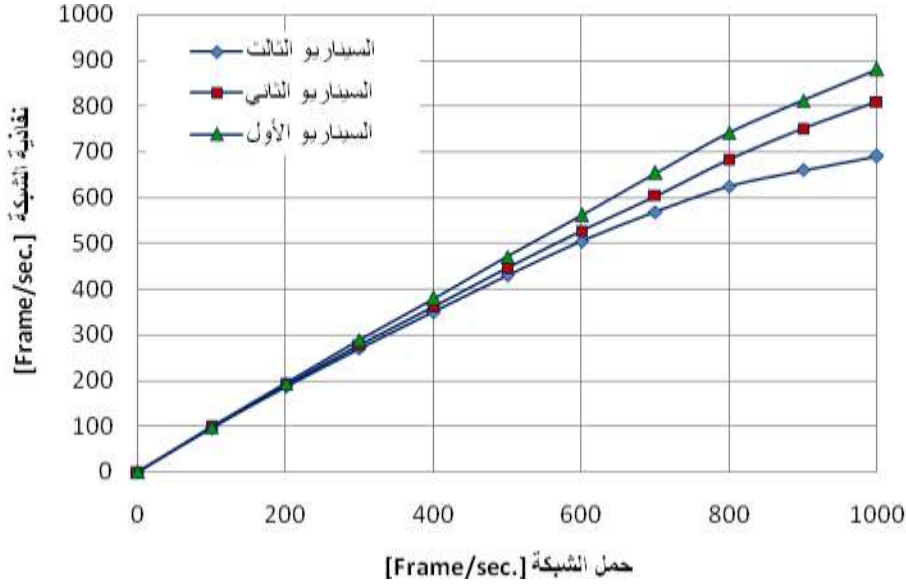
النتائج والمناقشة:

طبقت المحاكاة وفقاً لبارامترات المحاكاة المبينة في الجدول (2). وجرى استخلاص النتائج، ورسم المنحنيات البيانية التي تبين تغير أداء الشبكة في السيناريوهات الموضوعية وفقاً لتغير حمل الشبكة. ومن ثم مقارنة أداء الشبكات في السيناريوهات الموضوعية.

مقارنة الأداء في السيناريوهات الثلاث وفقاً لنفاذية الشبكة:

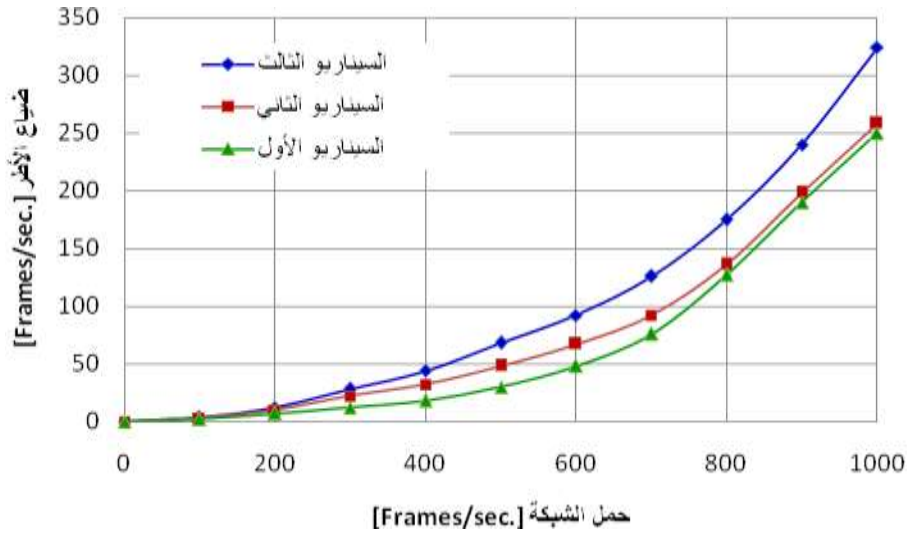
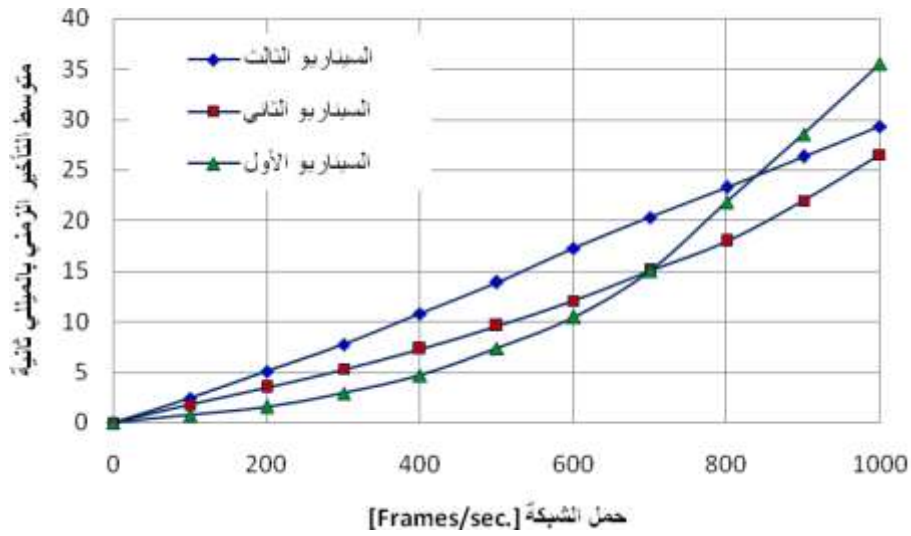
يتضح مباشرة من نتائج المحاكاة أفضلية السيناريو الأول على السيناريوهين الثاني والثالث. وعلى وجه الخصوص عند ازدياد الحمل المقترح للشبكة. كما يلاحظ أفضلية السيناريو الثاني على الثالث حيث تنخفض النفاذية بشكل ملحوظ في السيناريو الثالث ويعود السبب في كل ذلك إلى كون البنية الهجينة في السيناريو الثالث على المستوى الحقلية مما يزيد من عدد مرات التحويل التي تقوم بها البوابات مع عدم انخفاض عدد الأطر اللازمة للنقل على مستوى العمود الفقري. يتحسن الوضع في السيناريو الثاني بسبب التخلص من البنية الهجينة على المستوى الحقلية أي على مستوى الحساسات والمشغلات ولكن ضرورة تجميع الأطر من جهة وكبر حجم الإطار من جهة تمنع النفاذية من

الازدياد أكثر من حد معين مع ازدياد الحمل. ويعود السبب الأساسي في أفضلية النفاذية في السيناريو الأول إلى صغر حجم الأطر ومقابلة كل إطار CAN Bus بإطار ZigBee وهو ما يقلل الأخطاء وعدد الأطر المتصادمة على مستوى شبكة ZigBee.



مقارنة الأداء في السيناريوهات الثلاث وفقاً لمتوسط تأخير الأطر:

كنا نتوقع أن تستمر أفضلية السيناريوهات على حالها بالنسبة للتأخير الزمني، وهو ما تقود إليه المناقشة المنطقية انطلاقاً من وضع شبكة مثالي. ولكن ذلك لم يحدث إلا بعد ازدياد حمل الشبكة بعد حد معين، أي كلما ازداد عدد العقد في الشبكة وازداد حجم المنشأة المعنية. ويعود السبب إلى كون شبكات CAN Bus جيدة الأداء بشكل عام في المسافات القصيرة وعند عدد عقد ليس كبيراً. ومع ذلك فإن فروق التأخير الزمني عند الأحمال الصغيرة لا يحمل دلالة كبيرة أو تأثيراً كبيراً ضمن الحدود التي ظهرت مقارنة بدلالته عند الأحمال الكبيرة. وبعد التأخير الزمني مؤشراً ذا دلالة إذا زادت قيمته عن حد معين يؤدي إلى عدم وصول الأطر في الأوقات المناسبة، أو إذا أدى إلى ازدياد التصادم مع ازدياد الحمل ولذلك نعد أن أداء السيناريو الأول يكون أفضل في هذه الحلة من السيناريوهين الآخرين ويكون السيناريو الثاني الأفضل من السيناريو الثالث.



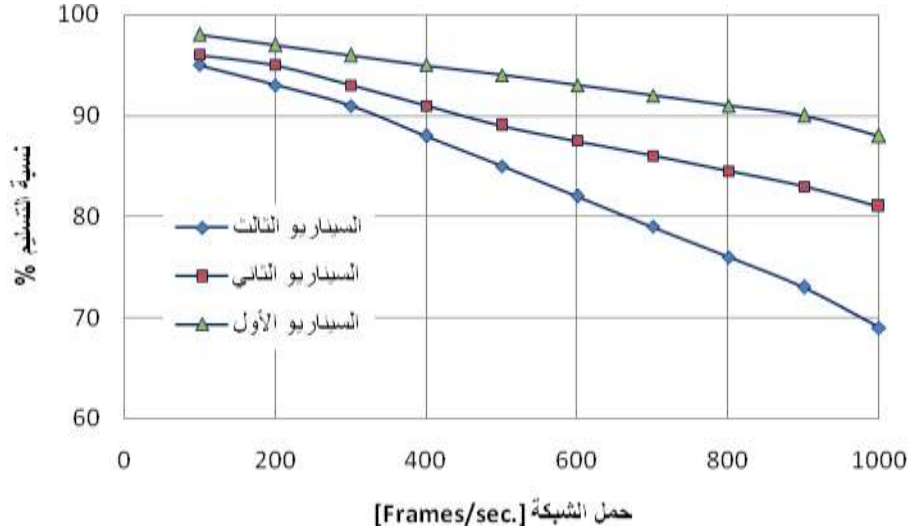
مقارنة الأداء في السيناريوهات الثلاث وفقاً لضياع الأطر:

تشير المنحنيات التي تمثل الأداء بالنسبة لضياع الأطر إلى أن السيناريو الأول يبقى الأقل ضياعاً للأطر. ويعود السبب إلى التخلص من الضياعات الناجمة عن تصادم أطر شبكات ZigBee على المستوى الحفلي والذي يعاني منه السيناريو الثالث. وللسبب نفسه فإن السيناريو الثاني يمتلك أفضلية على السيناريو الثالث. كما يضمن السيناريو الأول أن ينحصر ضياع الأطر بإطار واحد CAN Bus مقابل ضياع كل إطار ZigBee وليس أربعة أطر كما هو الحال في السيناريو الثاني.

مقارنة الأداء في السيناريوهات الثلاثة وفقاً لنسبة التسليم:

أظهر المؤشر الرابع من مؤشرات الأداء إلى تفوق السيناريو الأول عند كل الاحتمال على السيناريوهين الآخرين. وهنا أيضاً يعود السبب بشكل أساسي إلى ازدياد نسبة ضياع الرزم الناجمة عن العدد الكبير نسبياً للحساسات التي تعتمد ZigBee في السيناريو الأول على المستوى الحفلي بسبب التصادمات، أو عدم القدرة على حجز حيز زمني في الإطار العام لهذه الشبكات. وهذا السبب أيضاً أعطى الأفضلية للسيناريو الثاني على السيناريو الثالث. كما أظهر

السياريو الأول أفضلية على السياريو الثاني بسبب التقارب بين حجم الأطر في CAN Bus وفي ZigBee في هذا السياريو وكونه أصغر بأربع مرات من إطار ZigBee في السياريو الثاني وبالتالي فإن ضياع الرزم في هذا السياريو سيكون مضاعفاً وبالتالي سنقل نسبة التسليم عن السياريو الأول.



الاستنتاجات والتوصيات:

1. لقد بينت الدراسة أن استخدام السياريو الأول هو الأفضل بين السياريوهات الموضوعة من حيث مؤشرات الأداء المقترحة جميعها مع بعض الاستثناءات التي بينا أنها لا تؤثر في عمل المنظومة بشكل عام في الزمن شبه الحقيقي.
2. كنا نتوقع أن يكون السياريو الثاني أفضل من السياريو الأول بالنسبة لبعض مؤشرات الأداء وعلى وجه الخصوص التأخير الزمني وضياع الرزم. ولكن كون إطار ZigBee ليس أكبر بكثير من إطار CAN Bus في السياريو الثاني لم يسمح بمثل هذه الأفضلية. ونعتقد أن تطبيق بروتوكول آخر غير ZigBee ذي حجم إطار أكبر على مستوى العمود الفقري سيعطي أداء أفضل عند تجميع أطر CAN Bus ضمن إطار واحد.
3. بسبب الاستنتاج السابق فإننا نوصي باستخدام بروتوكولات مثل Ethernet لاسلكي، تتمتع باستخدام إطار كبير الحجم نسبياً وذلك عند ازدياد حجم المنشأة على أن يكون موضوع بحث آخر يكمل ما تم التوصل إليه في هذا البحث.
4. وأخيراً بينت النتائج أن استخدام عمود فقري لاسلكي في المنشآت موضوع الدراسة يؤدي ليس إلى تحسن في الأداء فقط ولكن إلى التمتع بالميزات والحسنات التي يقدمها الحل اللاسلكي على الحل السلكي من مرونة وتجنب للمشاكل الناجمة عن الأعطال السلكية الناشئة عن ظروف عمل هذه المنشآت.
5. وبسبب ارتباط المحاكاة والنتائج التي تم الحصول عليها بعدد الحساسات ونوع البروتوكولات وطريقة التشبيك أكثر من ارتباطها بوظيفة وطبيعة عمل المنشأة فإن هذه النتائج يمكن تعميمها على جميع المنشآت التي تماثل شبكتها في حجمها وتوزعها وعدد حساساتها.

المراجع:

- [1] G. Gaderer, P. Loschmidt, and A. Mahmood, A novel approach for flexible wireless automation in real-time environments, in *Proc. IEEE Int. WFCS*, Dresden, Germany, May 21–23, 2008, pp. 81–84.
- [2] L. Rauchhaupt, System and device architecture of a radio based fieldbus—The RFieldbus system, in *Proc. 4th IEEE Int. Workshop Factory Commun. Syst.*, 2002, pp. 185–192.
- [3] IEEE Standard for Information Technology—Telecommunications and Information Exchange Between Systems—Local and Metropolitan Area Networks Specific Requirements Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), 802.15.4-2006, 2003.
- [5] Guddeti Kiran kumar Reddy, G. Kalaimagal. A Hybrid Network for Greenhouse Management Using CAN and ZIGBEE, *IJERSS : Volume I - Issue IV*, April 2014
- [6] N.Prakash, N.Magadevi, Wireless can bus for industrial application, *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology* Volume 1, Issue 3, May2012, PP 22-27
- [7] T.Ashesh Kumar , K.Sambasiva Rao, Integrated Mine Safety Monitoring and Alerting System Using Zigbee & Can Bus, *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)*, Volume 8, Issue 3 (Nov. - Dec. 2013), PP 82-87
- [8] K.Rama Krishna Reddy, Ch. Murali Krishna Yadav, Implementation of Heterogeneous Network for Industrial Applications, *International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering (IJARECE)* Volume 3, Issue 9, September 2014. pp1179-1185.
- [9] Peter PENIAK, Can based application protocols for embedded devices, *ACTA TECHNICA CORVINIENSIS – Bulletin of Engineering* 2012. Fascicule 3, July–September. pp 41-44.
- [10] Orazio Mirabella and Michele Brischetto, A Hybrid Wired/Wireless Networking Infrastructure for Greenhouse Management, *IEEE transactions on instrumentation and measurement*, vol. 60, no. 2, 2011, pp 398-407.
- [11] 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, Available: [http:// www.ijart.org/](http://www.ijart.org/). (Online; accessed January 2, 2015)
- [12] CAN In Automation (CIA), CAN Specification 2.0, Part A and Part B. [Online]. Available: <http://www.can-cia.de/>(Online; accessed January 2, 2015).
- [13] R. Davis, A. Burns, R. Bril, and J. Lukkien, “Controller area network (can) schedulability analysis: Refuted, revisited and revised,” *Real-Time Systems*, 2007, vol. 35, no. 3, pp. 239–272.
- [14] 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.
- [15] Introduction to Network Simulator NS2; TeerawatIssariyakul , EkramHossain; 2009 Springer.
- [16] NS2: the network simulator, <http://www.isi.edu/nsnam/ns> (Online; accessed January 2, 2015)