Suggestion of an Active Method to Arrange Medium Access in Wireless Sensor Networks with Cluster Tree Topology &IEEE 802.15.4/Zig Bee According to Priority Factor

Dr. Jamal Khalifeh[*]
Dr. Muen Yones[**]
Shaza Jar'aa[***]

(Received 26 / 8 / 2019. Accepted 30 / 9 / 2019)

□ ABSTRACT □

Wireless sensor networks became very common in many different sides of life, networks which have cluster tree topology with IEEE802.15.4/ Zig Bee shows high affection in many applications industrial ,healthy ,agricultural and work is still progressive to improve performance of these networks and rise services quality. The arrangement to access medium is the most important door which can use it to improve the performance satisfy a requirement for renewing work. This effective arrangement will lead to organise slots reservation among super frame and to avoid collision and delay. Therefore, in this paper proposal method will be introduced to arrange the operation of mediumaccess according to priority factor, in this way we can determine the appropriate slots according to the importance and priority of nodes which formed the networks, which allows to reduce power consumption and organising the traffic of packets according to their importance and reduce end to end delay, increase throughput and number of received packets at coordinator.

Keywords: WSN wireless sensor network, cluster tree, IEEE802.15.4/Zig Bee MAC, GTS.

[*]**Professor, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[**]**Professor, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[***]**PhD Student, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

اقتراح طريقة فعالة لترتيب عملية الدخول للوسط لشبكات الحساسات اللاسلكية ذات بنية شجرة العناقيد والعاملة بالمعيار IEEE 802.15.4/Zig Bee حسب عامل الأولوية

د. جمال خليفة [*]

د. معين يونس [**]

شذا جرعا [***]

(تاريخ الإيداع 26 / 8 / 2019. قُبِل للنشر في 30/ 9 / 2019)

□ ملخّص □

أصبحت شبكة الحساسات اللاسلكية منتشرةً في مجالات الحياة المختلفة، وأبدت الشبكات ذات بنية شجرة العناقيد وفق المعيار IEEE 802.15.4 فعاليةً كُبرى في تطبيقاتٍ عديدةٍ زراعيةٍ وصناعيةٍ وصحيةٍ. ولا يزال العمل مستمراً لتحسين أداء عمل هذه الشبكات ورفع مستوى الخدمات.

وتعدّ عملية الدخول للوسط من أهمّ الأبواب التي يمكن طرقها لتحسين الأداء تلبيةً لمتطلبات العمل المتجدّدة، حيث أنّ عملية الترتيب الفعالة ستؤدي لتنظيم عملية حجز الحيزات ضمن الإطار الرئيس وتفادي تصادم الإطارات والتأخير في تسليم الرزم.

ولذلك تمّ تقديم اقتراح لترتيب عملية دخول العقد للوسط وفق عامل الأولوية، حيث يتمّ تحديد الحيزات المناسبة حسب أهمية وأولوية العقد المكوّنة للشبكة. مما يفسح المجال لتوفير استهلاك القدرة وتنظيم حركة تدفق الرزم حسب أهميتها، وتقليل التأخير الحاصل عند النهايات وزيادة انتاجية الشبكة من حيث عدد الرزم المستقبلة عند المنسق.

الكلمات المفتاحية: شبكات الحساسات اللاسلكية، شجرة العناقيد، IEEE 802.15.4/Zig Bee، التحكم بالدخول للوسط MAC، الأولوية، GTS (Guaranteed time slots)

[*] **أستاذ – قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات–كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين– اللاذقية –سورية.**

[**] **أستاذ – قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات–كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين– اللاذقية – سورية.**

[***] **طالبة دكتوراه – قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات–كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.**

مقدمة:

تتكون شبكة الحساسات اللاسلكية WSN من مجموعة من العقد الحساسة تتصل فيما بينها لاسلكياً لتبادل المعلومات، ومن ثمّ إيصالها لمحطة رئيسة. والشبكة قادرة على استشعار العوامل الطبيعية في البيئة المحيطة، وإجراء بعض العمليات المحدودة لمعالجة البيانات ثمّ إمكانية الاتصال اللاسلكي[1] ، وقد تكون منتظمة أو عشوائية تبعاً لطبيعة البيئة المحيطة وحسب التطبيق المستخدم.

مع الانتشار الواسع لشبكة الحساسات اللاسلكية، أصبحت الحاجة ملحةً لمعايير جديدة تتميز بدرجةٍ أقل من التعقيد واستهلاك أقل للطاقة. فكان المعيار IEEE 802.15.4 مناسباً للشبكات اللاسلكية الشخصية ذات المعدل المنخفض LR–WPANمع إمكانية تحقيق مزايا أخرى كالتكلفة المادية المنخفضة، والتجهيزات المحمولة صغيرة الحجم، ثابتة ومتنقلة في حين لم يكن ذلك متاحاً سابقاً[6–2] .

تلعب البنى التحتية في الكثير من تطبيقات شبكة الحساسات اللاسلكية، دوراً هامّاً كما في التطبيقات الصحية والصناعية والمراقبة والتحكم. وقد ظهرت شبكة الحساسات اللاسلكية كحلّ لكثير من المشكلات، وأضافت العديد من الميزات لتحسين العمل، كإمكانية تحقيق تصاميم جديدة لنموذج العمل، ومرونة أكثر، وإمكانية التعافي الذاتي للشبكة (بمعنى: قدرة الشبكة على عزل العقد الخارجة عن العمل، وإجراء تشكيلات وارتباطات جديدة للاستمرار بالعمل)، وفعالية المصادر. فبدت هذه الشبكات واعدةً بمستقبل فيه الكثير من الإنجازات القيّمة.

وبالرغم من الإيجابيات الكثيرة التي تتمتع بها الشبكة، إلّا أنّها لا تزال تعاني من بعض القضايا المتعلقة بالوثوقية وتسليم رزم البيانات ضمن الزمن الحقيقي المحدد، بسبب الازدحام والتصادم والضغط في حركة تدفقالرزم المنتقلة.وسيتمّ التركيز على بعض هذه المشاكل واقتراح الحلول الممكنة، في حال استُخدمت هذه الشبكات في التطبيقات الصناعية والاهتمام بالحالات الطارئة، وتنظيم العمل والتحكم والمراقبة في الشبكة، من أجل تحسين جمع البيانات وتسليمها ضمن الزمن المحدّد، مع تحقيق فعالية القدرة، وتنظيم جدولة للعقد الحساسة المكونة للشبكة لتحسين فعاليتها. اعتماداً على أولويات محددة للعمل لإنجاز الأهم فالمهم فالأقل أهمية.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في الفوائد التي تحققها عملية الجدولة للأطر، وعملية ترتيب دخول العقد للوسط. ويهدف البحث لاقتراح خوارزمية لهذا الترتيب حسب أولوية العقد ومحتوى الرسائل، مع التوصيف الرياضي المناسب لتحديد العوامل والبارامترات المرتبطة والمؤثرة في أداء الشبكة ككل من حيث استهلاك القدرة، وزمن التأخير وتنظيم الحركة العبورية في الشبكة.

طرائق البحث ومواده:

تعتمد طريقة البحث على توصيف شبكات الحساسات اللاسلكية العاملة بالمعيار IEEE 802.15.4 ذات بنية شجرة العناقيد، واقتراح خوارزمية لجدولة الأطر مع التوصيف الرياضي المناسب، اعتماداً على الدراسات المرجعية المتعلقة، واختبار النموذج المقترح بالمحاكاة ضمن ظروف عمل مشابهة وذلك من خلال:

- دراسة موقع البحث ضمن الأبحاث التي تُعنى بتحسين مرونة ووثوقية الشبكة خلال الزمن الحقيقي المحدد لها، اعتماداً على أولويات عمل تحدّد في الشبكة.
- اقتراح خوارزمية عمل لتحديد الأولوية في الشبكة، والتوصيف الرياضي المناسب لها.

- اختبار الخوارزمية المقترحة من خلال وضع سيناريو مناسب وتشغيل نموذج المحاكاة، اعتماداً على المحاكي OPNET.
- استخلاص النتائج والتوصيات.

علاقة البحث بالأبحاث المماثلة:

تميّزت الدراسات المرجعية المعتمدة في البحث بشكل خاص باستخدام المعيار IEEE802.15.4 أي ما يُعرف أيضاً بتقنية Zig Bee نميز في هذه الشبكات ثلاثة أنواع للأجهزة:

1. منسق الشبكة ZigBee Coordinator ZC: واحد لكل الشبكة، يشكّل جذر الشبكة وهو تجهيزة كاملة الوظيفة Full Function Device FFD ويعد جسراً للتواصل مع شبكات أخرى، ويكون قادراً على تخزين معلومات عن الشبكة.
2. الموجه ZigBee Router ZR: يرتبط مع المنسق أو مع موجهات أخرى، يمرّر ويوجّه البيانات من الأجهزة الأخرى، ويشارك بقفزات متعددة للرسائل، وهو تجهيزة كاملة الوظيفة FFD.
3. التجهيزة الطرفية ZigBee End deviceZED: تتصل مع العقدة الأب ولا تملك القدرة لإيصال رسالة بيانات لتجهيزات طرفية أخرى [7].

كما تتميز الشبكات العاملة بالمعيار IEEE 802.15.4 بمجموعة من الخصائص [8]

- ☒ معدل نقل البيانات يصل حتى 250kbps
- ☒ لهذه الشبكات نموذجان للعنونة قصير 16 بت، وطويل 64 بت.
- ☒ استخدام تقنية CSMA/CA للوصول للقناة.
- ☒ إمكانية التشكيل آلياً بواسطة المنسق.
- ☒ تتمتع هذه الشبكات بإدارة الطاقة، بمعنى استهلاكها للطاقة منخفض.
- ☒ تستخدم 10 قنوات عند التردد 915MHZ، 16قناة عند التردد 2.4GHZ، وواحدة عند 868MHZ.
- ☒ تدعم العمل في الشبكات النجمية والند للند.
- ☒ تدعم التجهيزات ذات معدل تأخير منخفض.

تملك طبقة MAC في المعيار IEEE802.15.4خصائص هامة، كدورة العمل المنخفضة low duty cycle operation، وإمكانية التنظيم الذاتي للشبكة، لذلك فقد حاز هذا المعيار على اهتمام الباحثين لإمكانية توفير العديد من الخدمات عبر شبكة الحساسات اللاسلكية من خلاله[9] . واستُخدمت تجهيزاته في مجالات الصناعة والصحة والمراقبة البيئية والتشغيل الآلي للمنازل، وفي أنظمة التتبع والطوارئ ومراقبة الكوارث[10] .

تُشكّل كل طبقة في الشبكات العاملة بالمعيار IEEE 802.15.4 جزءاً أساسياً منه وتُسلّم الخدمات للطبقات الأعلى، وتعرف الواجهات بين الطبقات بالوصلات المنطقية في المعيار[11] .وتتألف بنية التجهيزة العاملة في هذا المعيار من:

- الطبقة الفيزيائية تملك مرسل– مستقبل راديوي، وتُؤمّن الاتصال مع القناة لكل عمليات النقل.
- طبقة وصل المعطيات وطبقة MAC الفرعية ضمنها التي تدعم العمل بنظام المنارة أو لا تدعم.
- طبقة الشبكة تُنفّذ العنونة اعتماداً على توجيه معيّن.
- طبقة التطبيقات تقوم بتوليد رسائل الإقرار بالاستلام أو عدمه ضمن الزمن الحقيقي المسموح به.

في كل تطبيقات شبكات الحساسات اللاسلكية هناك نظام تحكم مركزي تتبع له كافة مكونات الشبكة، وتستخدم تقنيات عديدة للدخول في الوسط والوصول للقناة TDMA أو CSMA/CA، حسب التجهيزات الموجودة في الشبكة وحسب التطبيق. وتمّ وضع العديد من التقنيات بغية توفير استهلاك الطاقة وإطالة حياة الشبكة. ففي [12] تمّ وضع تعريف للمعيار IEEE 802.15.4 بحدود تأخير منخفضة والتأكيد على قابلية الشبكة للتوسع من خلال البنية الهرمية للارتباط بالعديد من العقد باستخدام تقنية TDMA.حيث أن معظم أنظمة التحكم والمعالجة الآلية، تمتلك بعض حلقات التحكم فيها أولوية أعلى من البقية، لذلك تكون الأفضلية العليا للمعلومات الصادرة منها كلما كان هناك مصادر مشتركة.

كما تمّ تعريف بعض الأمور المتعلقة بجودة الخدمة في شبكات الحساسات اللاسلكية ومنها:

a. محدودية الموارد والقدرات: كمحدودية الذاكرة، وعرض النطاق الترددي، والطاقة وقدرات المعالجة.
b. نشر وتطبيق العقد: فقد يكون منتظماً أو عشوائياً.
c. طبولوجيا(بنية) الشبكة الديناميكية: تحدث المشكلة غالباً عندما تكون الشبكة متنقلة لأنّ الحساسات تتحرك في اتجاهات مختلفة.
d. قابلية التوسع: ينبغي ألّا تتأثر جودة الخدمة بعدد العقد المتزايد أو المتناقص في الشبكة.
e. تعددية المصادر أو تعددية المجمعات حسب التطبيق.

يتمّ الاعتماد في دراسة وتحليل الشبكات على مبدأ الأولوية لتنفيذ المهام الموكلة إليها من حيث تسليم رزم البيانات وتحسين الوثوقية وتقليل زمن التأخير كما في [13] [14]. قدّم الباحثون في [13] أولوية جديدة لطبقة MAC بتقسيم حركة تدفق لعدّة أقسام، بحيث تكون حركة الأولوية المرتفعة بعرض حزمة أكبر من غيرها ذوات الأولوية الأقل. لكن تبدو هذه الخطة مفيدة في حال الأولويات المحددة الثابتة التي لا تتغير خلال حياة الشبكة.

ويعدّ استخدام تابع الأولوية مع البارامترات التي يحتويها من أهمّ ما تمّ اعتماده. ولكن مع زيادة تعقيد شبكات كان لا بدّ من إجراء تعديلات على مفهوم الأولوية ليصبح شاملاً لكل البارامترات العاملة والمؤثرة في الشبكة مهما اختلفت وتعدّدت.

اعتمدت الدراسات [19–15] على مبدأ الأولوية لعمل شبكة الحساسات اللاسلكية، ولكن في مخططات بُنى مختلفة عن شجرة العناقيد، فكانت الدراسات في البنى النجمية والمعشّقة والند للند والشجرية.

في [20,21] كانت العقد تعمل في نظام نصف مزدوج، فحددت مجال الاستخدام بذلك في معظم التطبيقات التجارية والصناعية.

في [22] قام الباحثون باستخدام ما عُرف(WirArb) بحالة تحكم عند كل عقدة، وذلك باستخدام تردد تحكم مسبق لإيجاد عدد من الحيزات الزمنية للانتظار حتى يتم الاتصال. واعتمد البروتوكول على سلسلة ماركوف المتقطعة للتأكيد على وصول المستخدمين بالأولوية العليا. لكن تحتاج هذه الطريقة لمنسق خاص لاستقبال كل ترددات التحكم والرد لحظياً، ممّا يزيد الحمل على الشبكة من خلال إرسال أُطر خاصة بالمنسق الخاص.

الطريقة المقترحة:

تقدّم الطريقة المقترحة جدولة لإطالة حياة الشبكة، ولتحقيق تسليم البيانات بالشكل الأمثل للمتحكم المركزي وبالتالي تحسين أداء الشبكة، وذلك باختيار شبكة لها بنية شجرة العناقيد، وتحديد تابع كلفة الأولوية وجدولة النوم والنموذج الرياضي المناسب.

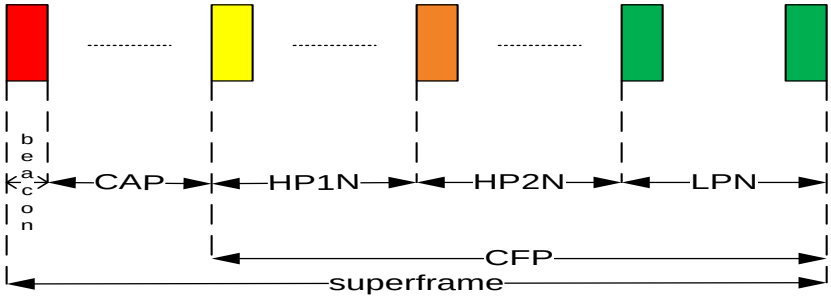
يبدأ الإطار الرئيس بالمنارة، تليها منطقة التنازع (Contentation access period) CAP، ثم منطقة خالية من التنازع (Contentation Free period) CFP وفيها حيزات لحجوزات اتصالات العقد، فإذا فرضنا العدد الأعظمي للعقد في النموذج هو n. فيكون هناك nحجز ضمن الإطار الرئيس.

K: الحيزات الزمنية الابتدائية المحجوزة للعقد ذات الأولوية العالية (حسب المكان) ، ولا يمكن تغييرها بسبب أهمية تلك العقد وسيُعتمد على تسميتها HP1N (High Priority Node).

m–k: الحيزات الزمنية المحجوزة للعقد ذوات الأولوية العالية والتي يمكن أن تتغير، وذلك حسب محتوى الرسالة وسيُعتمد على تسميتها HP2N (High Priority Message Node)

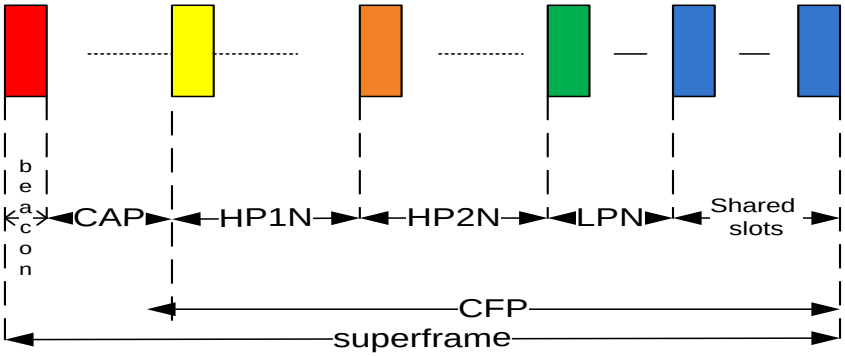
n–m: الحيزات المتبقية للعقد ذوات الأولوية المنخفضة وسيُعتمد على تسميتها LPN(Low Priority Node.

تُبدي الطريقة المقترحة مرونة في تغيير الأولوية من HP2N إلى LPN في الزمن الحقيقي المتاح في التطبيق، يُظهر الشكل (1) التقسيم الأولي للحيزات بالأولويات المتدرجة بالأهمية.



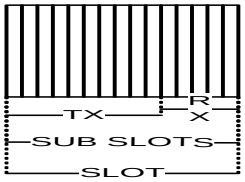
الشكل(1) ترتيب الأولويات في حيزات الإطار الرئيس

في حال كان عدد العقد العاملة في الشجرة والتي ستقوم بعملية الإرسال والاستقبال في عملية ما (عند لحظات معينة) أصغر من العدد الكليستظهر حيزات زمنية زائدة تعمل كحيزات تشاركيةShared Slots تُستخدم في عملية إعادة الإرسال عند حدوث خطأ ما لعمليات إرسال سابقة. كما في الشكل(2).



الشكل (2) ظهور الحيزات التشاركية في الإطار الرئيس

كمايتمّ تقسيم كل حيز زمني لحيزات زمنية فرعية sub–slots في كل منها قطاع إرسال وآخر للاستقبال. تملك الاتصالات في كلا القطاعين قنوات ترددية مختلفة لمعالجة مشكلة التقارب الزمني والمناطقي للمتجاورات، أي ستكون هذه التقسيمات كافية لتخديم الرزم حتى من أبعد نقطة حيث تكون قادرة على التراسل. لذا يمكن التغلُّب على التأخير الزمني عند حدوث التبديل بين الإرسال والاستقبال كما في الشكل (3).



الشكل(3) الحيزات الفرعية ضمن الحيز الأساسي.

يوضّح الجدول(1) البارامترات المستخدمة في الدراسة:

البارامتر	المتغيّر	القيمة
العدد الكلي للعقد	n	100
عقد الأولوية العالية مكانياًHP1N	k	10عدد محدد معلوم (تمّ الفرض في الدراسة عددها= 10% من العدد الكلي للعقد)
عقد الأولوية العالية بالمحتوىHP2N	m−k	–
عقد الأولوية العاليةHPN	m	–
عقد الأولوية المنخفضةLPN	n−m	–
مدة الإطار الرئيس	T_{SF}	10ms
مدة الحيز الزمني	t	$\sim 300\mu s$
احتمال تغير الأولوية للعقدHP2N	p_n	0−0.1
احتمال فشل الاتصال	q	0−0.15(تحدّد من قِبل المستخدم حسب التطبيق)
احتمال نجاح الاتصال	P	0.85−1(تحدّد من قِبل المستخدم حسب التطبيق)
مدة الحيز الفرعيsubslot duration	s_d	$\sim 26\mu s$
المعاملات	α, β, γ	0 or 1
زمن الانتظار	ω	$0 \leq \omega < t_{\text{real time}}$ (تحدّد من قِبل المستخدم حسب التطبيق)
مؤشر المعلومات الحرجة	CII	–

1- تابع الأولوية:

معظم الأولويات الموجودة باستخدام البروتوكول MAC تستخدم نظام أولويات ثابتة[22,21] حيث يكون تعريف مسبق ومحدد لأولوية النظام حسب مصادر المعلومات. تتمّ معالجة كل عقدة في الشبكة حسب سويةِ أولويةٍ معروفةٍ مسبقاً. لذا تم تعريف تابع وزن الأولوية وهو يأخذ بالحسبان (الاتصالات في الحيزات الزمنية المبكرة، الطبيعة الحرجة لأخذ العينات، الأولوية الطبيعية لمصادر المعلومات، تتالي الإخفاقات في التسليم) كما أنه يسمح بمساهمة كل العوامل السابقة، ويُعرّف بالمعادلة(1) :

$$P_n(t) = P_p + P_{data} + P_{ack} \qquad (1)$$

$P_n(t)$:أولوية العقدة ذات الرقم n في اللحظة t.

$P_p = \alpha . p_n(x)$: أهمية موقع العقدة ذات ال رقمn. Priority of Position

$\alpha = 1$: إذا كان الموقع محدد مسبقاً ضمن نموذج العمل بأنه مهم.

$\alpha = 0$: غير ذلك.

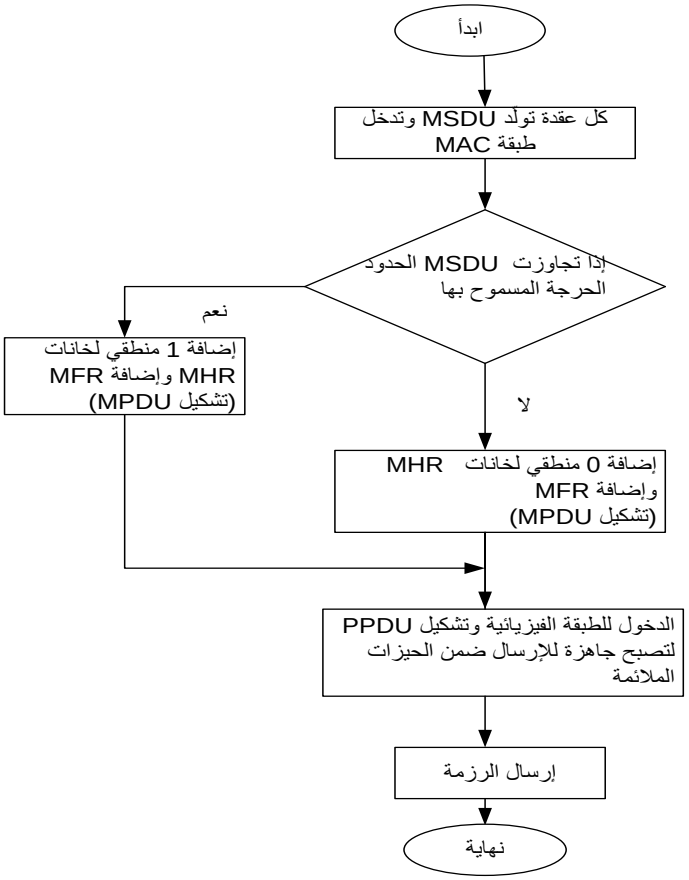
$P_{data} = \beta . CII_n(t)$: أهمية البيانات المحسوسة الصادرة من ال عقدة nفي اللحظة t

CII : مؤشر البيانات الحرجة Critical Information Index

$\beta = 1$: إذا كانت البيانات المحسوسة عند العقدة ضمن مجال غير مستقر، مثلاً تجاوزت العتبة المسموح بها، ويتم التعبير عن ذلك بإضافة الخانة 1 في ترويسة MAC للرزمة عند تشكيل MPDU

$\beta = 0$: إذا كانت البيانات المحسوسة عند العقدة ضمن مجال مستقر، ولم تتجاوز العتبة المسموح بها.

تستطيع كل عقدة توليد إطارات خلال فواصل زمنية محددة بـ start time و time stop ويُرمز لكتلة البيانات المتولدة بـ MSDU وبعد مرورها على طبقة MAC سيتم إضافة الترويسة والتذييل MHR و MFR لتصبح MPDU (MAC Packet Data Unit). في هذه المرحلة سيتم إجراء التعديل المقترح فإذا تجاوزت البيانات الموجودة في الإطار الحدود والعتبات الحرجة المسموح بها سيتم إضافة 1(منطقي) ضمن خانات الترويسة MAC للدلالة على أهمية المحتوى، وإلّا تأخذ خانة أهمية المحتوى (0) منطقي.



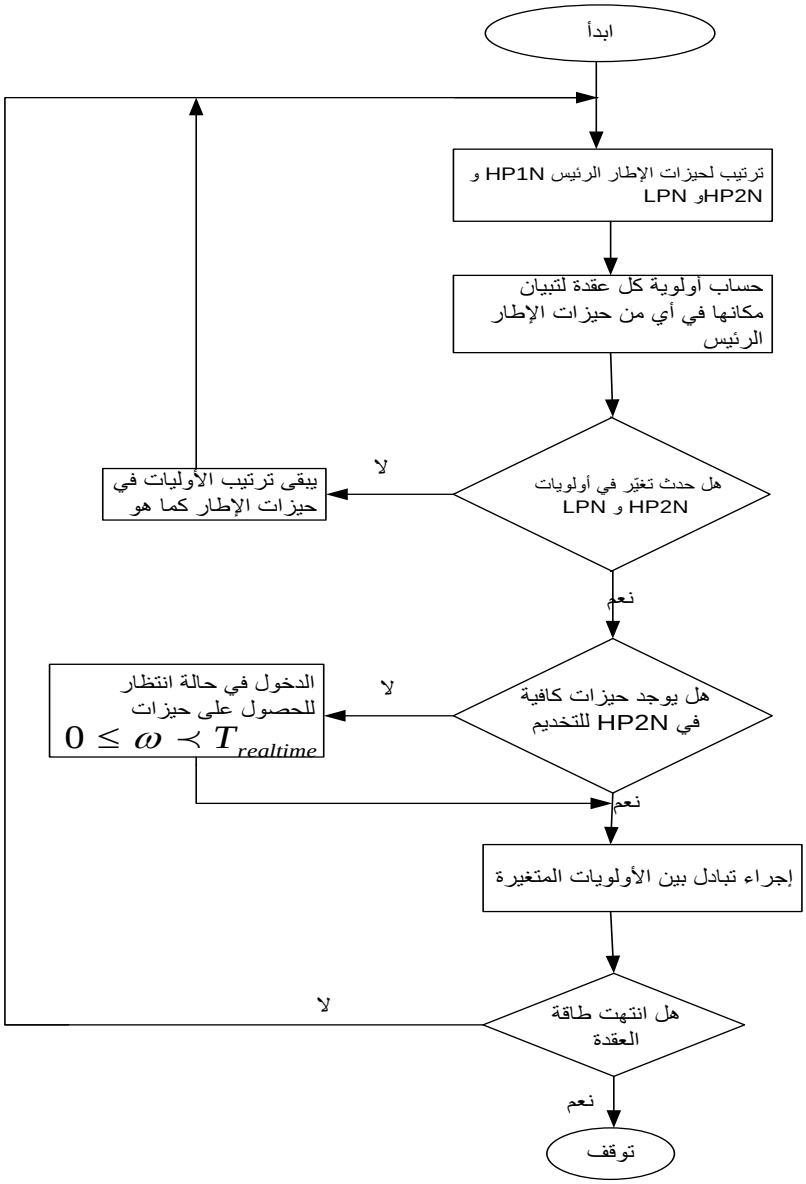
الشكل (4) المخطط التدفقي لتحديد أهمية المحتوى

$P_{ack}1$=في حال فشل مسبق في إيصال البيانات.

$P_{ack}0$= غير ذلك.

يضمن هذا الترتيب إعادة الإرسال خلال زمن محدد، حيث يتم حجز الحيزات الأولى للأولويات العليا وتحديداً ذات الموقع الهام لاعتبار أن كل الرسائل التي سترد منها على درجة عالية من الأهمية، وسيكون هناك على الأقل عقدة واحدة تنخفض أهميتها من السوية العليا للأدنى حسب محتوى البيانات التي ستصدر منها، لذا ستنتقل بحجزها من الحيزات ذات الأولوية العليا للأخفض، وبالمقابل ستنتقل عقدة أو أكثر حسب أهمية المضمون من السوية الدنيا للأولوية للسوية الأعلى. في هذه الحالة لا بدّ من جدولة جديدة لتنظيم التغيرات والاستبدالات في حجز الحيزات الزمنية وفق تعليمات جديدة من المنسق. ولضمان عدم حصول أي خطأ يجب أن تكون التغيرات في تخصيص الحيزات الزمنية في الإطار الرئيس ضمن الحدود المسموح بها والتي يتم تعيينها بما يتلاءم مع التطبيق.

ويكون المخطط التدفقي للطريقة المقترحة بالشكل (5)



الشكل (5) المخطط التدفقي للطريقة المقترحة

تحقيق جدولة النوم مع أهمية القناة:

اعتمدت الكثيرٌ من الأبحاث التي تطرقت لإطالة حياة الشبكة على إدخال العقد في طور النوم والفاعلية، للحفاظ على ما أمكن من الطاقة دون التأثير على أداء الشبكة. إنّ العقد ذات الأولوية المرتفعة ستبقى فعالة خلال زمن الاتصال الحقيقي، بينما العقد ذات الأولوية المنخفضة ستكون فعالة عند الارتباط بالعقد ذات الأولوية المرتفعة والاتصال برأس العنقود، وعند فشل عقدة في الإرسال سيبقى الحيز محجوزاً من أجل عملية إعادة الإرسال. وحينها تكون العقدة ذات الأولوية المنخفضة بحاجة لأن تكون فعالة فقط لاستقبال المنارة من المنسق (أو رأس العنقود) حسب حالة الاتصال للعقدة ذات الأولوية المرتفعة المرتبطة بها. ولكن وبسبب قصر هذه الفترة ستكون القنوات الراديوية المتاحة دون فائدة [24]،[23].

للفصل بين حالات النوم والفاعلية يتم اعتبار الفترة الفعالة على كامل الحيز الزمني، ولتسهيل عملية إعادة الإرسال سيتم حفظ حيز العقدة ذات الأولوية المنخفضة في حال فشل الإرسال.

في الدراسة: عدد العقد ذات الأولوية المرتفعة (من حيث المكان والمحتوى) أكبر من عدد العقد ذات الأولوية المنخفضة، ولذلك يتم تنفيذ عملية تكرار ثانية في حين لم يتم حجز الحيزات الزمنية للعقد ذات الأولوية المنخفضة.

النموذج الرياضي:

في الدراسات المرجعية [23]،[22] تمّ التعبير عن التدفق بالعديد من البارامترات كالعنقود المصدر، وعدد القفزات للوصول للمنسق، وزمن الاستمرار.... وغيرها.

في الطريقة المقترحة سيتم التعبير عن التدفق بمجموعة من البارامترات وفق الشكل الآتي:

$$F_i = (C_i, H_i, P_i, T_i) \qquad (2)$$

C_i: العنقود المصدر الذي نشأ منه التدفق.

H_i: عدد القفزات اللازمة وصولاً للمنسق.

T_i : الزمن الذي تستمر فيه الجدولة، زمن التنفيذ الملائم للـreal time.

P_i : أولوية التدفق، وهي عبارة عن عدة أولويات. تأخذ العلاقة الآتية والمذكورة سابقاً بالمعادلة (1):

$$P_i = P_p + P_{data} + P_{ack}$$

يمكن التعبير عن الأولوية P_i أيضاً بالشكل كونها $P_i(t)$ قد تتغير مع الزمن، أي حسب المدة التي تستمر فيها الجدولة

$P_p = \alpha . P_{position}$ تأخذ إحدى القيمتين 0 أو 1 حسب أهمية الموقع، فإذا كانت العقدة واقعة في مكان تمّ تحديده مسبقاً بأنّه من المواقع ذات الأهمية العالية سيأخذ المعامل α القيمة 1. وإلا 0.

$P_{data} = \beta . C.I.I_x(t)$ أهمية المحتوى(البيانات)

$C.II_x(t)$: مؤشر المعلومات الحرجة Critical Information Index فإذا كانت القيم المُتحسّسة ضمن مجال مستقر سيكون للمؤشر $C.I.I_x(t)$ قيمة صغيرة، لذا سيأخذ المعامل β القيمة 0. ولن تُحسب أولوية المحتوى من الأولوية الكلية. وإذا كانت القيم المُتحسّسة المستقبلة ضمن مجال كبير أي منحرفة عن الوضع المستقر متجاوزةً العتبات الحدية(تجاوز العتبة الحرجة) التي تمّ تعريفها مسبقاً في نموذج التطبيق المستخدم بالتالي سوف تزداد قيمة المؤشر $C.I.I_x(t)$ وسيأخذ المعامل β القيمة 1. وستظهر أولوية المحتوى في الأولوية الكلية.

$P_{ack} = \gamma . DMI_x(t)$ مؤشر توصيل الرسالة Delivery Message Index

إذا استقبلت العقدة تقرير التوصيل من المستقبل لن يكون هناك أولوية أو حاجة لإعادة إرسال الرسالة، وحينها سيأخذ المعامل γ القيمة 0. وإذا لم تستقبل العقدة المرسلة تقرير التوصيل هذا يعني أن الرسالة قد تعرّضت للفقد أو الضياع

ولا بدّ من عملية إعادة الإرسال لضمان وصول المعلومات للوجهة المطلوبة وحينها سيأخذ المعامل γ القيمة 1 بمعنى: سيكون أولوية لهذه الرزمة للإرسال وستظهر هذه الأولوية ضمن علاقة الأولوية الكليّة. ومن إعدادات العقدة يُمكن التحديد أنه إذا لم يتم استقبال تقرير ACK يمكن إعادة الإرسال في نفس الإطار ضمن الحيزات التشاركية Shared Slots دون الحاجة لانتظار حجز في الإطار التالي.

والجدير ذكره أنّه في أول عملية إرسال ضمن الجدولة المعتمدة ستكون قيمة المعامل γ هي0، وستظهر أهمية هذا العامل من بعد أول عملية إرسال بحسب مؤشر توصيل الرسالة.

إذا أردنا صياغة تابع منطقي يعبّر عن توصيف لخرج الشبكة، بمعنى حالات الاتصال الفعالة التي يرافقها نقل لرزم البيانات، سيكون بالشكل الآتي:

$$Y_{net} = Y_1 \vee Y_2 \vee Y_3 \qquad (3)$$

$$Y_1 = \alpha_1 P_1 \wedge \alpha_2 P_2 \wedge \dots \dots \wedge \alpha_k P_k \qquad (4)$$

$$Y_2 = \beta_{k+1} P_{k+1} \vee \beta_{k+2} P_{k+2} \vee \dots \dots \vee \beta_m P_m \qquad (5)$$

$$Y_3 = 1 \oplus Y_2 \qquad (6)$$

Y_3, Y_2, Y_1: خرج أولوية المكان، خرج أهمية المحتوى، خرج العقد منخفضة الأهمية. على الترتيب.

قد يحدث تبادل بحجز حيزات الأولوية ما بين بعض العقد من LPN عند ارتفاع أهمية المحتوى، وما بين العقد HP2N عند انخفاض سوية الأهمية لبعض العقد.

وهنا يجب الأخذ بالحسبان أنّه ليس بالضرورة أن يكون عدد العقد التي سيرتفع أهمية محتواها يساوي عدد العقد التي انخفضت أولويتها بسبب انخفاض أهمية المحتوى، ويتم تخديم كافة العقد بدخولها في رتل انتظار حسب سعة المخزن للرأس (أو الأب)، حسب تقنية TDCS كل timeslot يمكنه تخديم أكثر من عقدة حساسة[23] . وهنا سيظهر معامل جديد لتحديد زمن الانتظار ضمن المجال المسموح به حسب الزمن الحقيقي للتطبيق المستخدم وليكن $\omega 0 \leq \omega < t_{\text{real time}}$ وهنا سيكون التأخير في حالة الانتظار بمثابة سلبية لهذه الطريقة المقترحة. لكن يبقى أصغر من التأخير الحاصل في حال الانتظار في الطريقة التقليدية [24,25] TDCS لجدولة شجرة العناقيد. لأنّه تمّ تصنيف العقد حسب أولويتها وسيتم التعامل مع عدد محدد من العقد وليس مع كامل عقد الشبكة، بل مع العقد ذات سوية الأولويات المتشابهة.

ولكي يكون الإرسال ناجحاً في الإطار الرئيس يجب أن تكون كل عمليات الاتصال ناجحة، لكن ذلك لا يحدث بشكل دائم في التطبيق العملي بل سيحدث ضياع أو تداخل أو تشتت... لأسباب عديدة كمحددات قدرة الإرسال وحساسية المستقبل.

تعتمد النسبة المئوية لأخطاء الاتصال في الشبكات بشكل عام على ظروف القناة، كما تتأثر بعوامل أخرى كالتداخل والخفوت والضياع والتشتت والازدحام، وحساسية المستقبل.... وفي هذه الحالة يتم تقدير النسبة المئوية لخطأ الاتصال على كامل الإطار، كما يؤثر عدد العقد، فمع ازدياد عددها يزداد احتمال فشل إحداها على الأقل. وتُعطى العلاقة العامة لفشل أحد الاتصالات على الأقل في المعيار IEEE 802.15.4 [3] بالمعادلة:

$$P = \frac{m!}{1!(m-1)!} q(1-q)^{m-1} + \frac{m!}{2!(m-2)!} q^2(1-q)^{m-2} + \frac{m!}{(m-1)!(m-(m-1))!} q^{m-1}(1-q)^{m-(m-1)} + \frac{m!}{m!(m-m)!} q^m(1-q)^{m-m} \qquad (7)$$

ويمكن التعبير بالشكل العام الآتي:

$$P = \sum_{x=1}^{m} \binom{m}{n} q^x (1-q)^{m-x} \qquad (8)$$

q: احتمال الفشل.

m: عدد العقد. أمّا في الطريقة المقترحة سيكون عدد العقد ذات الأولوية المرتفعة.

في الطريقة المقترحة ومن أجل الشبكات ذات معدل تأخير منخفض، أي العاملة ضمن حدود الزمن الحقيقي المسموح به والمحدّد مسبقاً للشبكة ستصبح العلاقة المعبّرة عن فشل الاتصال بالشكل:

$$P = \left[\frac{m!}{1!(m-1)!} q(1-q)^{m-1} + (1-q)\right] + \left[\frac{m!}{2!(m-2)!} q^2(1-q)^{m-2} + (1-q)\right] + \cdots + \left[\frac{m!}{(m-1)!(m-(m-1))!} q^{m-1}(1-q)^{m-(m-1)} + (1-q)\right] + \left[\frac{m!}{m!(m-m)!} q^m (1-q)^{m-m} + (1-q)\right] \qquad (9)$$

بقراءة العلاقة السابقة نلاحظ أنّه يمكن إعادة الإرسال مرة واحدة في حال الفشل، ولكن في حال توفر عدد من الحيزات التشاركية التي يمكن الاستفادة منها للإعادة أكثر من مرة وبالاستقراء الرياضي للعلاقة السابقة نحصل على:

$$P = \left[\frac{m!}{1!\,(m-1)!} q(1-q)^{m-1} + \sum_{i=1}^{j} (1-q)^i\right] + \left[\frac{m!}{2!\,(m-2)!} q^2(1-q)^{m-2} + \sum_{i=1}^{j} (1-q)^i\right] + \cdots + \left[\frac{m!}{(m-1)!\,(m-(m-1))!} q^{m-1}(1-q)^{m-(m-1)} + \sum_{i=1}^{j} (1-q)^i\right] + \left[\frac{m!}{m!\,(m-m)!} q^m (1-q)^{m-m} + \sum_{i=1}^{j} (1-q)^i\right] \qquad (10)$$

i: عدد مرات إعادة الإرسال حتى الحد الأعلى المسموح به.

تحليل تأثير الطريقة المقترحة على التأخير:

يلعب التأخير دوراً هامّاً في تقييم تأثير أداء الطريقة المقترحة على حدود تسليم البيانات من العقدة المصدر وحتى المنسّق. وسيتمّ التعبير عن الزمن الكلي المستغرق لوصول البيانات للوجهة المطلوبة بالعلاقة:

$$\partial = P.T_{SF} + \delta_p + \omega \qquad (11)$$

P: احتمال نجاح الاتصال وهو بحدود 1−0.85.

T_{SF}: زمن الإطار الرئيس 10ms.

δ_p: الزمن المستغرق من بدء الإرسال وصولاً للمنسق ويساوي تقريباً 600 µs.

ω: زمن الانتظار في حال تغيُّر حالة الأولوية للعقدة المصدر ريثما تحجز الحيز الجديد الموافق لحالتها $0 \le \omega < t_{\text{real time}}$.

ويتمّ تحديد الزمن الحقيقي حسب التطبيق المستخدم (إمّا hard real time أو soft real time). في الطريقة المقترحة سيتم التعامل مع soft real time.

سيناريو المحاكاة:

تتكون الشبكة من منسق واحد ZC و10 رؤوس عناقيد (وكل منها يقوم بدور الموجه ZRأيضاً لها أولوية عالية محددة من قِبل المكان في التطبيق، إضافة لعقد أخرى ضمن العناقيد لها أولوية عالية من مكانها المهم. كما وتوجد عقد ذات أولوية عالية لكنها متغيرة حسب محتوى الرسالة من البيانات المجمّعة. ومجموعة ثالثة من العقد ذات أولوية منخفضة قابلة للتغيير عندما تقوم بجمع بيانات لها أهمية أكبر من السابقة. حيث يكون العدد الكلي للعقد في الشبكة 100عقدة، والتي ستكون لشبكة غير متوازنة، أي أنّ ازدحام الحركة المرورية للرزم ليس بنفس الكثافة عند كل العناقيد والفروع. وبالأخذ بالحسبان فاصل المنارة عند استخدام MICAZ بالقيمة النظرية BI=3932.160 msec أمّا بالعمل النتائج التجريبية كانت القيمة BI=245670 Symbol=4266.885 msec في هذه الحالة يجب أن تكون نوافذ الإطار الرئيس/ المنارة على الأقل 2^4 16 beacon/ superframe time window =وكل نافذة تقابل15360symbol وتساوي 266.680 msec عندما SO=4,SD= 15360 Symbol,

جدول (2) سيناريوهات المحاكاة

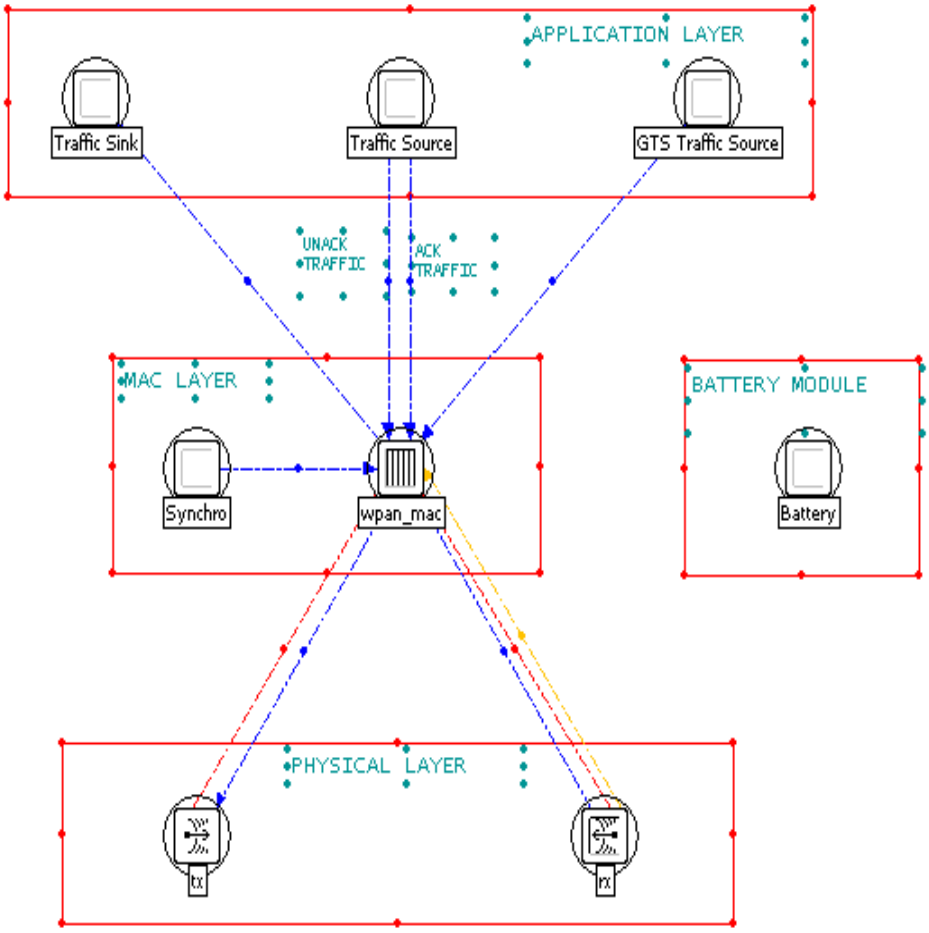
	عدد المنسّقات	عدد HP1N	عدد HP2N	عدد LPN	العدد الكلي
السيناريو الأول new1	1	10	30	60	100
السيناريو الثاني new2	1	10	تبادل بنفس عدد الحيزات		100
السيناريو الثالث new3	1	10	60	30	100

سيتم العمل على المقارنة بين الطريقة المقترحة وفق ثلاثة سيناريوهات مع الدراسة المرجعية في [22] من حيث:

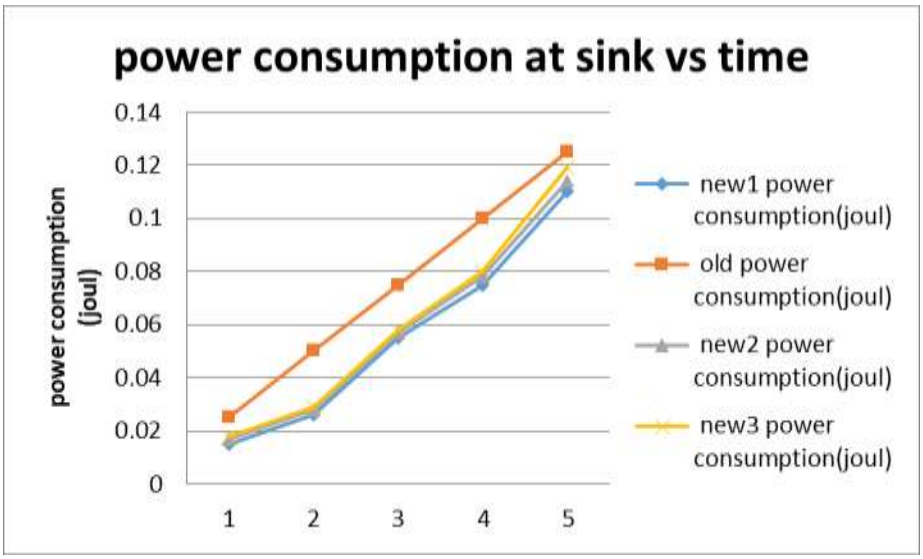
a) لكل عقدة أولوية معينة محسوبة وفق المعادلة (3) وبالتالي حجز مناسب لها.

b) تغير في الأولويات وحدوث تبادل بنفس عدد الحيزات بين HP2N و LPN (وهذه حالة خاصة).

c) تغيّر في الأولويات بين HP2N و LPN مع تغيّر عدد الحيزات المحجوزة ودخول عقد في حالة انتظار (حالة عامة).

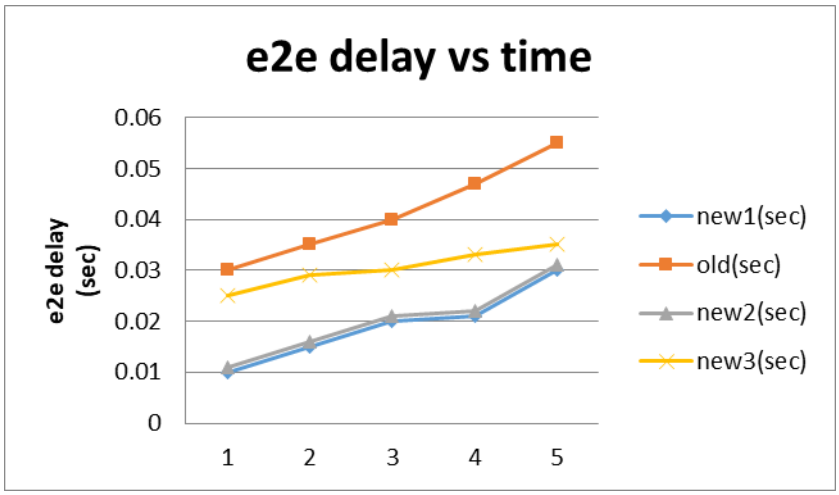


الشكل(6) بنية العقدة الحساسة في المحاكي opnet



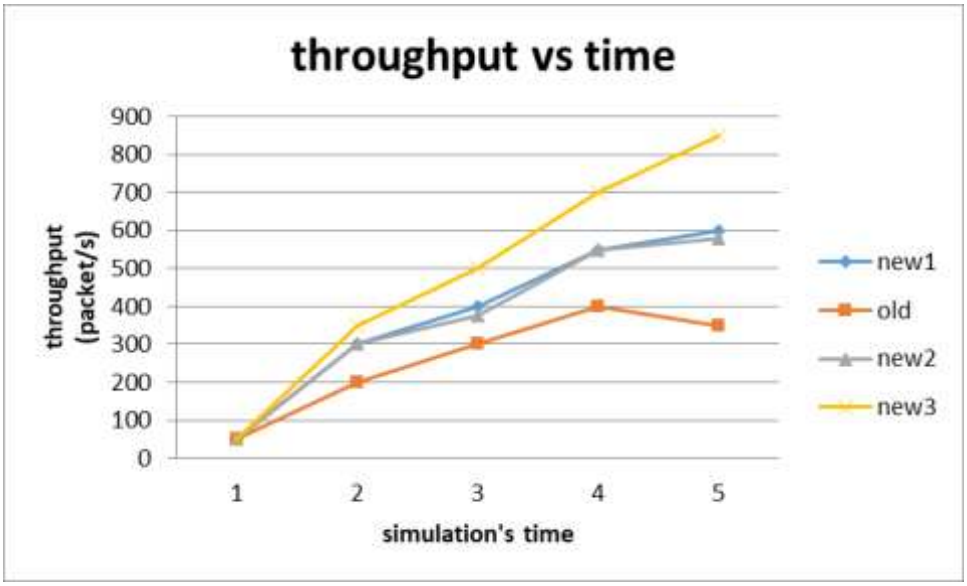
الشكل (7) مقارنة القدرة المستهلكة عند المنسق في المرجعية والمقترحة.

نلاحظ من الدراسة التجريبية باستخدام المحاكيOPNET، الذي تم استخدامه لدعمه لشبكات ZigBee التي تعتمد على GTS، وبإجراء السيناريوهات الثلاث المذكورة سابقا ومن الشكل (7) أنّه تمّ تخفيض مقدار الطاقة المستهلكة عند منسق الشبكة في الطريقة المقترحة بقيمة وسطية تم حسابها بأخذ متوسط القيم التي حصلنا عليها والمبينة على الشكل وتساوي 11% عن المقدار المستهلك في الطريقة المرجعية، مما يسمح بالعمل gفترة أطول.



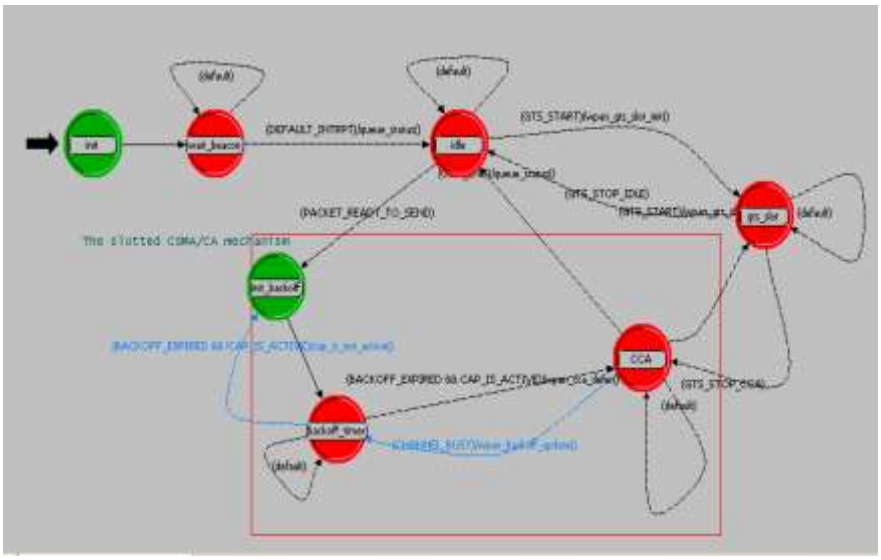
الشكل (8) مقارنة بين تأخير النهايات في المرجعية والمقترحة

نلاحظ من الشكل(8) : إنّ الخوارزمية المقترحة خفّضت التأخير الحاصل عند النهايات بقيمة وسطية تم حسابها أيضاً بأخذ متوسط القيم التي حصلنا عليها والمبينة على الشكل تساوي 50% عن الدراسة المرجعية المقارن بها، مع الانتباه أنّ السيناريو الأول والثاني يستغرقان أزمان متقاربة، بينما السيناريو الثالث استهلك زمناً أطول باعتبار أن العقد ستدخل في حالة انتظار ريثما تحظى بحجز حيزات خاصة بها مما يضمن تسليم البيانات بسرعة أكبر والعمل ضمن المجال المسموح به في الزمن الحقيقي.



الشكل (9) مقارنة بين throughput للشبكة المرجعية والمقترحة

من الشكل(9) تحقّق الطريقة المقترحة انتاجية أعلى في الشبكة بالنسبة للطريقة المرجعية بقيمة وسطية تساوي 70%، وقد تم حساب هذه القيمة بأخذ متوسط القيم المبينة على الجدول وحسب السيناريو الثالث الذي يفرض زيادة في عدد العقد مرتفعة الأولوية سيترافق ذلك مع زيادة أكبر في انتاجية الشبكة أكثر من الضعف.



الشكل (10) يوضّح عمليات المعالجة الحاصلة في MAC وفق الطريقة المقترحة.

الاستنتاجات والتوصيات:

1. يؤدي تحديد وترتيب أولويات العقد للحجوزات في الإطار الرئيس إلى ترتيب عملية الحجز للدخول في الوسط، وتحسين العديد من بارامترات الأداء.
2. تحقّق الطريقة المقترحة استهلاكاً أقل من الطاقة، مما يؤمّن فترات عمل أطول.
3. الاعتماد على الأولوية من شأنه أن يمنع تكرار إرسال بيانات بطرق متعددة لمنع استهلاك الطاقة دون الحاجة لذلك. كما أنّه يضمن إعادة إرسال الرزم في حالة الفشل في مرحلة سابقة لضمان وصول البيانات المتحسسة للمجمع.
4. تعمل الطريقة المقترحة على تقليل زمن التأخير الحاصل عند النهايات، مع المحافظة على حدود الزمن الحقيقي المسموح به.

المراجع:

[1]AKKAYA, K;YOUNIS, M. *A survey on routing protocols for wireless sensor networks*. Ad hoc networks, 3(3) , 2005, 325-349.

[2]KIM, E. ; YOUM, S. K; CHOI, S. *Priority-based service differentiation scheme for IEEE 802.15. 4 sensor networks*. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 61(2), 2007, 69-81.

[3]- Zigbee-Alliance, 2017, "*ZigBee specification*", http://www.zigbee.org/.

[4]-ISSA,M;KHALIFEH,J;ALBUSTANI,H..*Scheduling ZigBee/8022.15.4 based Wireless Sensor Network according simplified equation to calculate the forest fire risk index*, Tartus University Journal For Studies & Scientific Research, 2018.
[5]- KHALIFEH J. *Improving the performance of wireless medical sensor networks in the patient monitoring in the health care wards*, Tishreen University Journal For Studies & Scientific Research, 2014.
[6]- KHALIFEH J. *Improving the data transfer performance in the hybrid low-speed networks that are used in the near-real time operating establishments.* Tishreen University Journal For Studies & Scientific Research. 2015.
[7]CAO, H; LEUNG, V.,;CHOW, C; CHAN, H. *Enabling technologies for wireless body area networks: A survey and outlook*. IEEE Communications Magazine, 47(12), 2009 , 84-93.
[8] SUH, C; MIR, Z. H. *Design and implementation of enhanced IEEE 802.15. 4 for supporting multimedia service in Wireless Sensor Networks.* Computer Networks, 52*(*13), 2008, 2568-2581.
[9]CUOMO, F; LUNA, S. D; MONACO, U. *Routing in ZigBee: benefits from exploiting the IEEE 802.15. 4 association tree. In 2007 IEEE International Conference on Communications* ,3271-3276.
[10] CHEN, F; TONG, X. NGAR, E. *Mode switch—Adaptive use of delay-sensitive or energy-aware communication in IEEE 802.15. 4-based networks*. In The 7th IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems ,IEEE MASS 2010, 302-311.
[11]IEEE Standards Association. *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks—Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) Amendment 1: MAC sublayer. IEEE Std 802.15. 4e- (Amendment to IEEE Std 802.15. 4).* IEEE Computer Society: New York, NY, USA. 2012
[12]SHEN,W; ZHANG, T; BARAC, F. *Priority MAC: A priority-enhanced MAC protocol for critical traffic in industrial wireless sensor and actuator networks*. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 10(1),2014, 824-835.
[13]ZHENG, T., GIDLUND, M. *WirArb: A new MAC protocol for time critical industrial wireless sensor network applications*. IEEE Sensors Journal, 16(7),2016, 2127-2139.
[14]GUNGOR, V. C; HANCKE, G. P. *Industrial wireless sensor networks: Challenges, design principles, and technical approaches*. IEEE Transactions on industrial electronics, 56(10),2009, 4258-4265.
[15]IEEE 802.11 n Working Group.*Draft amendment to standard for information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan networks-Specific requirements*,2006,Part 11: Wireless LAN medium access control and physical layer specifications: enhancements for higher throughput. *IEEE P802. 11n/D1. 0.*
[16]SCHURGERS,C; TSIATSIS, V; GANERIWAL, S.*Optimizing sensor networks in the energy-latency-density design space*. IEEE transactions on mobile computing,2012, 99(1),70-80.
[16]MARCHENKO, N; ANDRE, T; MASOOD, W.*An experimental study of selective cooperative relaying in industrial wireless sensor networks*. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 10(3),2014, 1806-1816..
[17]KHAN, N. M; KHALID, Z; AHMED.*Gradient cost establishment (grace) for an energy-aware routing in wireless sensor networks*. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2009(1).275-312.

[18]ZHANG, D; LI, G; ZHENG, K; MING, X.*An energy-balanced routing method based on forward-aware factor for wireless sensor networks*. IEEE transactions on industrial informatics, 10(1), 2014,766-773.
[19]DOBSLOW, F; ZHANG, T;GIDLUND, M.*Latency improvement strategies for reliability-aware scheduling in industrial wireless sensor networks*. International Journal of Distributed Sensor Networks, 11(10), 2015,178368..
[20]SHIN, S; KWON, T;PARKH. *An experimental study of hierarchical intrusion detection for wireless industrial sensor networks*. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 6(4),2015, 744-757.
[21]INSEL, O. D; GHOSH, A; KRISHNAMASHARI, B. *Fast data collection in tree-based wireless sensor networks*. IEEE Transactions on Mobile computing, 11(1),2012, 86-99.
[22]SEVERINO, R; PERAIRA, N; TOVAR, E.*Dynamic cluster scheduling for cluster-tree WSNs*. SpringerPlus, 3(1),2014, 493-512..
[23]KOUBAA, A;CUNHA, A;ALVES, M. *A time division beacon scheduling mechanism for IEEE 802.15. 4/ZigBee cluster-tree wireless sensor networks*. In 19th Euromicro Conference on Real-Time Systems (ECRTS'07),2007 , 125-135.
[24]KOUBAA,A; ALVES, M; TOVAR, E. *GTS allocation analysis in IEEE 802.15. 4 for real-time wireless sensor networks*. In Proceedings 20th IEEE International Parallel & Distributed Processing Symposium,2006, 8-23.
[25] P. Jurˇc´ık, R. Severino, A. Koubˆaa, M. Alves, and E. Tovar.: RealTime Communications over Cluster-Tree Sensor Networks with Mobile Sink Behaviour. In Proc. of the 14th IEEE International Conf.on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications (RTCSA), pages 401–412, Aug. 2008.