

## تحسين تعايش الشبكات غير المتجانسة ضمن بيئة إنترنت الأشياء

الدكتور ناجي محمد \*

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٥/٢/٢٦ . قُبل للنشر في ٢٠٢٥/٥/١٥)

□ ملخص □

يبنى إنترنت الأشياء (IoT) من خلال ربط شبكات سلكية ولاسلكية مع بعضها البعض بحيث تكون قادرة على توصيل الأشياء، وتكمن صعوبة تحقيق أداء عالي ونتائج مرضية بسبب عدم تجانس الشبكات فيما بينها والتي تعمل ضمن نفس المجال الترددي. سيؤثر تواجد شبكات ZigBee وشبكات Wi-Fi معاً في نفس المكان على أداء شبكات ZigBee، وذلك كون شبكات Wi-Fi تمتاز باستطاعة إرسال عالية مقارنة مع شبكات ZigBee المنخفضة الطاقة ومجال التغطية. يمتاز عمل شبكات Wi-Fi بالإرسال ضمن الحيزات الزمنية ولكون الإرسال يتم بطريقة عشوائية، لا بد من تحديد الحيز الزمني الشاغر الذي يتم به إرسال معطيات ZigBee. ولتحديد الحيز الزمني المناسب تم استخدام آلية خوارزمية التراجع الثنائي (Binary Exponential Backoff) و تم تحقيق ذلك باستخدام بيئة الماتلاب، و تظهر نتائج المحاكاة ارتباط احتمالية الإرسال الناجح بكل من حجم الحمل و معدل النقل، و كذلك بتغير زمن الحيز الزمني . كما ان اختيار قيمة منخفضة لاحتمالية الإرسال سيحسن معدل التدفق بنسبة تصل إلى 3% مقارنة مع الطرق التقليدية.

الكلمات المفتاحية: شبكة Wi-Fi ، شبكة Zigbee ، خوارزمية التراجع الثنائي، التعايش ، التداخل

\* أستاذ مساعد في قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات - كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات - جامعة طرطوس - سوريا

## Improving the coexistence of heterogeneous networks within the Internet of Things environment

Dr. Naji Mohamad \*

(Received 26/2/2025 . Accepted 15/5/2025)

### □ ABSTRACT □

The Internet of Things (IoT) is built by connecting wired and wireless networks to connect things. The difficulty in achieving high performance and satisfactory results lies in the heterogeneity of the networks operating within the same frequency range. The coexistence of ZigBee and Wi-Fi networks in the same location will affect the performance of ZigBee networks, as Wi-Fi networks have a high transmission power compared to ZigBee networks with low power and coverage. Wi-Fi networks operate within time slots, and since transmission is random, it is necessary to identify the available time slot in which ZigBee data is transmitted. To identify the appropriate time slot, the Binary Exponential Backoff algorithm was used, implemented using the MATLAB environment. Simulation results show that the probability of successful transmission is related to both the load size and transmission rate, as well as to the variation in the time slot. Furthermore, choosing a low value for the transmission probability improves the throughput by up to 3% compared to traditional methods.

**Key Words:** Wi-Fi , ZigBee , Binary Backoff algorithm, coexistence, interference

---

\*Assistant professor, Communication Technology Engineering Department, Information and communication Technology Engineering, Tartous University, Syria

## ١- المقدمة:

يعد الانتشار الكبير لشبكات الاستشعار اللاسلكية والتطور المتقدم لنقل البيانات (الرطوبة، درجات الحرارة، معلومات التحكم والمعلومات الطبية) لربط الأشخاص، الأشياء وكافة التطبيقات مع بعضها البعض ولمسافات بعيدة أمراً ضرورياً، وهاماً. وبسبب تنوع الأجهزة والشبكات التي يمكن أن تنقل تلك البيانات وتنوع التقنيات المستخدمة من جهة، ومن جهة أخرى من غير الممكن تواجد شبكة واحدة تغطي جميع التطبيقات والمتطلبات. سيؤدي ذلك إلى تواجد شبكات غير متجانسة مع البعض ضمن مساحة جغرافية واحدة مما يخلق مشكلة التداخل ضمن المجال الترددي نفسه وانخفاض الأداء العام لشبكات IoT.

## ٢- أهمية البحث أهدافه:

تعد بيئة انترنت الأشياء مجال هام ومحور دراسة مستمر للباحثين. تكمن أهمية البحث في تحسين أداء شبكات ZigBee التي تعمل ضمن بيئة انترنت الأشياء. ويتم تحقيق ذلك من خلال تحديد الحيز الزمني الشاغر (Idle) ضمن مجال عمل شبكات Wi-Fi لضمان إرسال البيانات بنجاح وتخفيض التصادم بين الإطارات التي تنتمي إلى شبكات مختلفة. وتظهر المشكلة بشكل واضح عند الإرسال التي تقوم به شبكات Wi-Fi مع شبكات ZigBee ضمن المجال الترددي IMS2.4GHz.

## ٣- طرائق البحث ومواده:

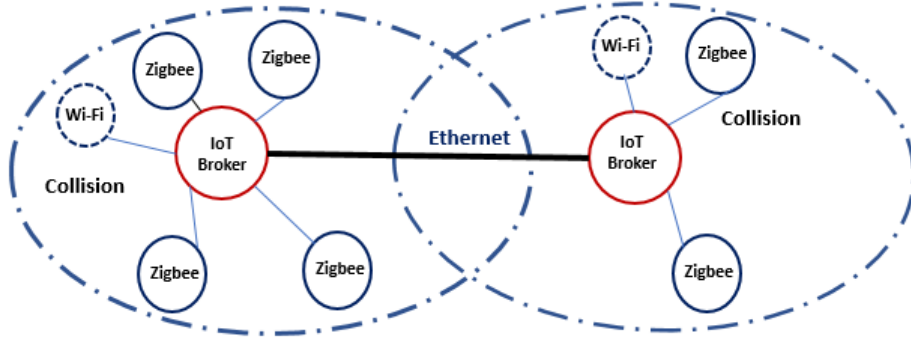
٣-١ الميزات الفنية للشبكات اللاسلكية: يتميز كل نوع من أنواع الشبكات اللاسلكية بسمات وخصائص محددة تختلف عن الشبكات الأخرى، يوضح الجدول (١) مقارنة بين العديد من التقنيات اللاسلكية الرئيسية، والتي يمكننا من خلالها أيضاً رؤية مزاياها ونطاقات تطبيقاتها.

الجدول (١) مقارنة بين العديد من تقنيات الاتصالات اللاسلكية قصيرة المدى [1]

المواصفة	Bluetooth	UWB	Wi-Fi	ZigBee
نطاق العمل	IEEE802.15.1	IEEE802.15.4a	IEEE802.11	IEEE802.15.4
معدل النقل	2.4GHz	3.1~10.6GHz	2.4GHz/5.8GHz	868/915MHz 2.4GHz
معدل الإرسال	723kbps	110Mbps~1.6Gbps	10~105Mbps	20kbps/40kbps 250kbps
مجال (مسافة) العمل	10m	4~20m	10~100m	10~300m
استهلاك الطاقة	1~100mW	1mW	100mW	1~3mW
التكاليف	متوسط	منخفض	متوسط	منخفض
السعة	8	١٢٨	٣٢	٦٥٠٠٠

وتبرز أهمية ZigBee الذي يعمل وفق بروتوكول IEEE 802.15.4 في انخفاض استهلاك الطاقة بحيث يمكن للجهاز ضبط طاقة الإرسال تلقائياً لتقليل استهلاك الطاقة مع ضمان جودة رابط الاتصال [2]. ويعد بروتوكول ZigBee بسيط ويتطلب مساحة تخزين أقل، ومتطلبات أقل لوحدة التحكم في الاتصالات، كما أنه بروتوكول مفتوح المصدر. ويعمل عند معدل إرسال منخفضة. ويتميز بتأخير استجابة منخفض عند البحث عن الجهاز بقيمة لا تتجاوز 30msec. ويمكن أن تصل سعة الشبكة ما يصل إلى ٦٥٠٠٠ جهاز. تستخدم إشارات Wi-Fi معايير الشبكات 802.11، 802.11n عند نقل البيانات. هناك عدد من الأنواع المختلفة للبروتوكول المستخدم في شبكات Wi-Fi. بعض من الأنواع الأكثر شيوعاً التي قد تراها هي 802.11n الذي يستخدم في نطاق 2.4GHz و

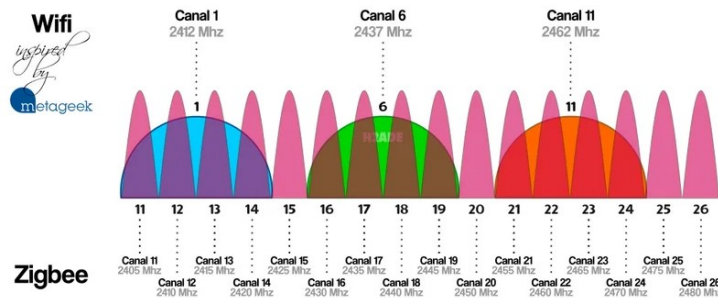
802.11ac المستخدم أساساً ضمن مجال 5GHz . يتم أحياناً الإشارة إلى قوة إشارة Wi-Fi بواسطة مؤشر قوة الإشارة المستلمة (مستوى RSSI)، وهو قياس يمثل جودة الإشارة المستلمة على الجهاز. في مجال الشبكات عموماً واللاسلكية خصوصاً، لا توجد شبكة أو بروتوكول أهم وأفضل من الآخر وإنما لكل من الشبكات المختلفة تطبيقات لا تعمل إلا من خلالها. وبالتالي في بيئة تتواجد فيها شبكتان معاً، قد تتخفف الأولوية النسبية وقد يزيد فقدان الرزم لبعض الشبكات على حساب الشبكات الأخرى. بالإضافة إلى ذلك، لتحقيق خدمة إنترنت الأشياء، يوجد وسيط إنترنت الأشياء يعمل كنقطة وصول (AP) للأجهزة غير المتجانسة [3] ، وهنا، لا يوجد أمام وحدة Wi-Fi ووحدة ZigBee خيار سوى العمل على في مكان واحد وبالتالي تظهر مشكلة التداخل أكثر خطورة كما في الشكل (1). ويتم ربط (AP) من خلال شبكة إيثرنت (Ethernet). لكي تعمل الشبكتان بدون تداخل يلزم وجود مسافة فعلية بحيث لا يحدث تصادم. وهذا لا يتوافق مع بيئة إنترنت الأشياء التي تخدم شبكتين أو أكثر ضمن وسيط إنترنت الأشياء واحد.



الشكل (1) التداخل بين شبكات Zigbee و شبكات Wi-Fi

تحتوي تقنية Wi-Fi على 13 قناة بنطاق ترددي 22 ميجا هرتز في نطاق 2,4 جيجا هرتز، وتستخدم 3 قنوات لا تتداخل مع الاتصال، بينما تحتوي تقنية ZigBee على 16 قناة في نطاق 2,4 جيجا هرتز، كل منها بنطاق ترددي 2 ميجا هرتز. في هذا الوقت، تتداخل قناة Wi-Fi واحدة مع أربع قنوات ZigBee، ومن بين هذه القنوات المتداخلة، يمكن للقناتين الأقرب إلى تردد مركز Wi-Fi أن تتسببا في حدوث تداخل متبادل أعلى يوضح الشكل (2) تداخل الترددات بين شبكتي Wi-Fi و ZigBee. تقترح الكثير من الدراسات [4] تقنية القفز الترددي (Frequency Hopping) بين القنوات التي تفصل القنوات أو تحدد القنوات التي لا تتداخل تردداتها المركزية داخل نفس القناة. ومع ذلك، من أجل العثور على هذه القنوات، يجب اكتشاف التداخل مسبقاً للعثور على القناة المثالية، وبعد ذلك يجب على جميع الأجهزة تغيير القنوات، وهو ما قد يكون له تكلفة كبيرة ويستغرق زمناً طويلاً ويبقى التداخل موجود مع ازدياد الحركة والبيانات المرسله.

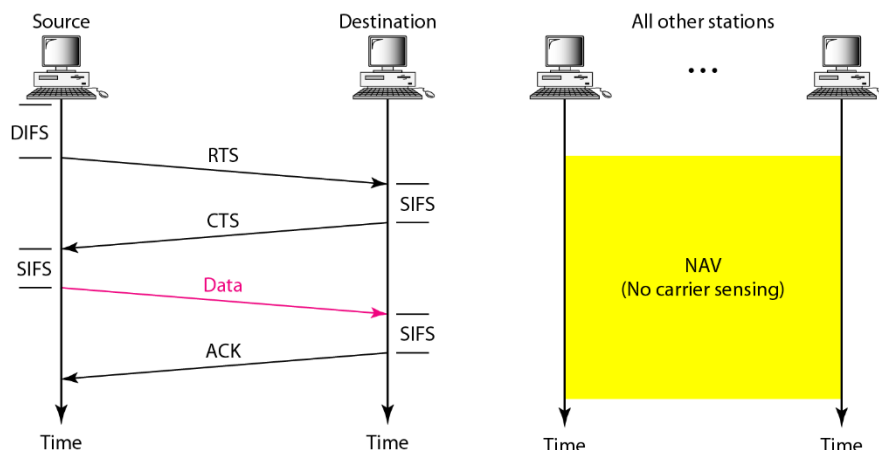
### 24Ghz Zigbee / wifi Channel



## الشكل (٢) التداخل بين ترددات شبكات Zigbee و شبكات Wi-Fi

قامت دراسة حول التحكم في إطارات ZigBee من خلال التحليل الإحصائي لحركة مرور Wi-Fi ونمذجة أداء ZigBee في البيئات الحقيقية [٥] بحساب الحد الأدنى لحجم الإطار الذي يزيد من الإنتاجية ويقلل من احتمالية تصادم ZigBee. تتمتع هذه الدراسة بميزة عدم وجود تكلفة إضافية للعثور على قناة ذات تداخل أقل، ولكن لها عيب يتمثل في صعوبة المنافسة العادلة مع قنوات Wi-Fi في البيئات ذات مستويات التداخل العالية والكفاءة المنخفضة.

٢-٣ إطارات التحكم المرسل: قبل إرسال أي إطار، تستشعر محطة الإرسال الوسط عن طريق التحقق من مستوى الطاقة عند تردد الموجة الحاملة. تستخدم القناة استراتيجية (persistence) مع (back-off) حتى تصبح القناة شاغرة (idle). بعد أن تكتشف المحطة أن الوسط شاغر، تنتظر فترة زمنية تُسمى (DIFS: distributed interframe space)، ثم ترسل إطار تحكم يُسمى طلب الإرسال (RTS: request to send)، بعد استقبال RTS وانتظار فترة زمنية تُسمى (SIFS: short interframe space)، ترسل محطة الاستقبال إطار تحكم يُسمى مسح الإرسال (CTS: clear to send) إلى محطة الإرسال. يشير إطار التحكم هذا إلى أن محطة الاستقبال جاهزة لاستقبال البيانات. كما موضح بالشكل (٣). ترسل محطة الإرسال البيانات بعد انتظار فترة زمنية تُعادل SIFS. ثم ترسل محطة الاستقبال، بعد انتظار فترة زمنية تُعادل SIFS، إشعارًا باستلام الإطار [6,7] ACK.



الشكل (٣) إطارات التحكم وشعاع NAV

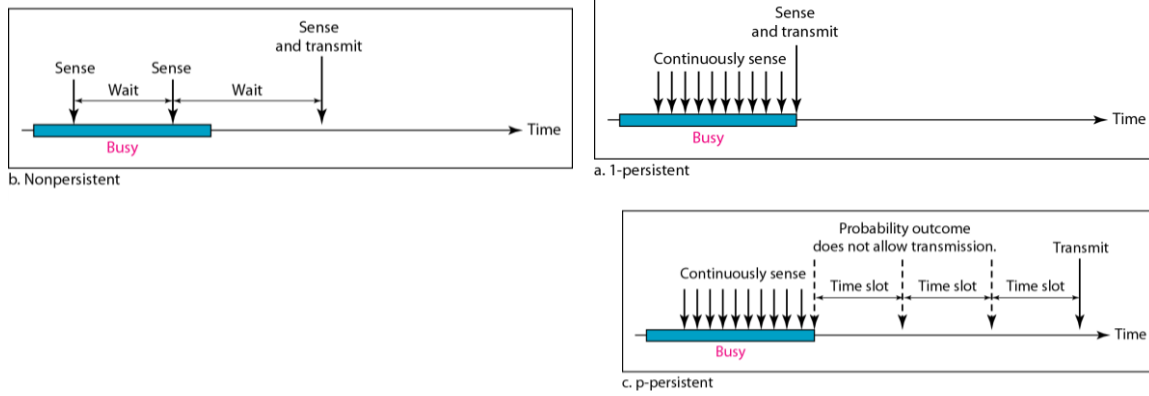
عندما ترسل محطة إطار RTS، فإن الإطار يتضمن المدة الزمنية اللازمة لشغل القناة. تنشئ المحطات المتأثرة بهذا الإرسال مؤقتاً يُسمى متجه تخصيص الشبكة (NAV: network allocation vector)، والذي يُظهر المدة الزمنية اللازمة قبل السماح لهذه المحطات بفحص القناة بحثاً عن حالة خمول (Idle).

٢-٣ خوارزمية التراجع الثنائي (Binary Exponential Backoff): تعد خوارزمية معيارية لـ IEEE802.11 DCF من أجل تحديد الحيزات الزمنية التي يمكن لمنسق Zigbee الإرسال فيها. تعبر حجم نافذة التعارض (contention window (CW)) عن الزمن المستغرق للعقدة لترسل الإطارات ابتداءً من القيمة • لعداد التراجع (backoff counter) اعتماداً على ما إذا كان هناك تصادم أم لا، وفق للعلاقة (1):

$$W_i = 2^i W, \text{ where } i \in (0, m) \quad (1)$$

ومع ذلك من الصعوبة التنبؤ بدقة زمن التراجع والذي يتم تحديده بواسطة تابع عشوائي، لذلك قيمة تراجع جديدة يمكن أن تنقص حجم نافذة التنافس بشكل تدريجي عند نجاح الإرسال. إن إيجاد فترة زمنية فارغة تتجنب التصادم بشكل احتمالي دون تكلفة إضافية لـ ZigBee في طبقة MAC لبيئة CSMA الحالية [8,9]. والتغلب على التداخل من خلال ضمان معدل إنتاجية مرتفع حتى مع زيادة عدد عقد ZigBee في بيئة التعايش بين Wi-Fi و ZigBee.

يتم استخدام طريقة DCF، وهي تقنية الوصول إلى الوسائط الأساسية لـ IEEE 802.11b/g، وخوارزمية التراجع الثنائية. بالإضافة إلى ذلك، يتم إرسال RTS/CTS لحل مشكلة المحطة المخفية (Hidden Station). تقوم عقد ZigBee بإرسال البيانات بشكل دوري إلى منسق ZigBee، والذي يقوم بتجميع البيانات وإرسالها إلى (IoT Broker)، يحتوي IoT Broker على كل من وحدة Wi-Fi ووحدة ZigBee، كما تقوم عقد Wi-Fi ومنسق ZigBee بتبادل البيانات مع IoT Broker في بيئة تعايش فيها بيئتا الشبكة. يمكن لمنسق ZigBee أن يرسل إطارات وفق الطرق الثلاثة التالية (non-Persistent, 1-Persistent, p-Persistent) الموضحة بالشكل (4) سيتم اختيار الطريقة p-Persistent بحيث يرسل الإطار باحتمال p وينتظر باحتمالية 1-p حسب حالة القناة [10,11].



الشكل ( ٤ ) يوضح طرق الإرسال الثلاثة

#### ٤ - النتائج والمناقشة

تعتمد الآلية المقترحة على خطوتين:

- ١- تحديد زمن إرسال ZigBee من خلال مراقبة حالة إرسال حزمة Wi-Fi، وتحديد احتمال الإرسال من خلال تحليل إمكانية الإرسال بواسطة زمن التراجع.
- ٢- تحديد الاحتمالية التي من أجلها يقرر منسق ZigBee بشأن إرسال الإطارات وبالتالي زيادة كفاءة الشبكة.

كما مبين في الشكل (٥) الممثل للآلية المقترحة



وهذا يعني أن المعادلة (3) بأن تحاول عقدة Wi-Fi عشوائية الإرسال مرة واحدة على الأقل ضمن الحيز الزمني  $(0, t)$  ، ويمكن التعبير عن ذلك بالمعادلة (4) الذي يمثل تابع CDF للتابع الأسي.

$$f(t, \lambda) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda t} & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases} \quad (4)$$

يقوم منسق ZigBee بإرسال البيانات إلى وسيط إنترنت الأشياء باحتمالية محسوبة تحدد بالعلاقة (5).

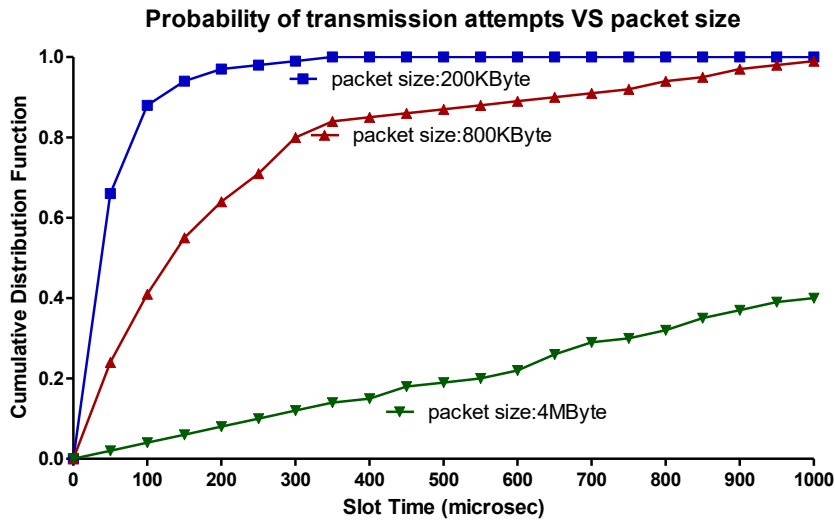
$$P_{tr} = n\tau(1 - \tau)^{n-1} \quad (5)$$

من ناحية أخرى، نظرًا لأن العديد من العقد تشارك في المنافسة ولا يمكن التنبؤ بطول وقت التراجع المحدد في هذا الوقت، فمن الأفضل محاولة الإرسال فقط خلال الفاصل الزمني  $(0, t)$  . ولكن عندما يحاول إطار منسق ZigBee الإرسال، فإنه يعيد المحاولة حتى يكون النجاح ممكنًا. إذا لم يتم إجراء أي محاولة إرسال خلال هذه الفترة، سيتم الانتظار إلى مرحلة التراجع التالية. هنا، من خلال استخدام احتمالية أن تحاول n عقدة موجودة في شبكة Wi-Fi الإرسال في وقت واحد، يمكننا الحصول على الاحتمالية كما في العلاقة (5) .

من أجل تقييم أداء الآلية المقترحة، نستخدم MATLAB لتحليل الأداء النظري وفقًا لبيئة الشبكة احتماليًا ونمذجة بيئة التداخل لإنترنت الأشياء لتقييم فعالية نقل ZigBee في الشبكة.

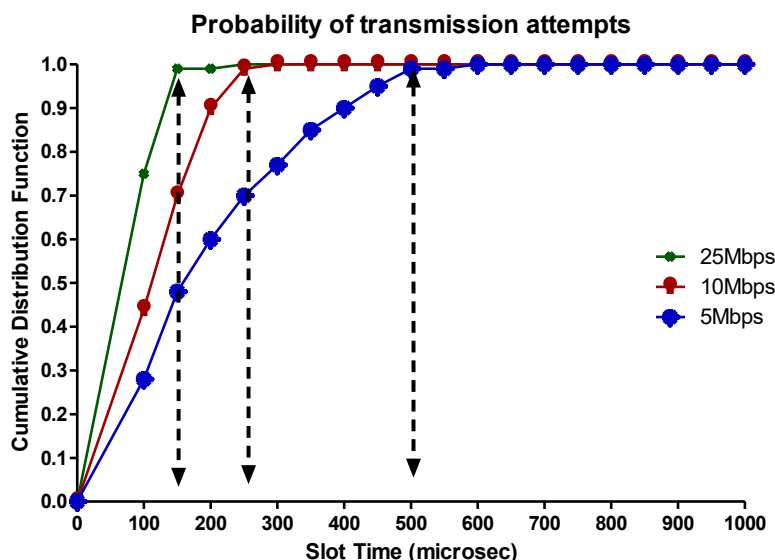
رياضياً، يتم تعريف CDF للمتغير العشوائي X على أنه  $F(x) = P(X \geq x)$  ، حيث  $F(x)$  هو CDF ، P يمثل الاحتمال، و x هي قيمة محددة للمتغير العشوائي. يشير هذا التعريف إلى أن CDF هي دالة غير متناقصة تتراوح من 0 إلى 1. عندما تقترب x من اللانهاية السالبة، يقترب CDF من 0، ومع اقتراب x من اللانهاية الإيجابية، يقترب CDF من 1، مما يلتقط بشكل فعال التوزيع الاحتمالي بأكمله. ي تحليل البيانات، يتم استخدام CDF لتلخيص توزيع نقاط البيانات بشكل فعال. من خلال تحليل CDF، يمكن لعلماء البيانات تحديد احتمالية وقوع نقطة بيانات ضمن نطاق معين.

٤-١ تأثير حجم الحمل على احتمالية محاولات الإرسال: يبين الشكل (٦) تابع التوزيع المتراكم CDF كتابع لزمان الحيز الزمني عندما تحاول إحدى الرزم الإرسال وكيف تتغير احتمالية محاولة الإرسال حسب حجم الحمل الذي يأخذ ثلاث قيم (200Kbyte, 800KByte, 4Mbyte) مع زيادة زمن الحيز الزمني. يشير هذا إلى أن احتمالية محاولات الإرسال تكون أعلى عندما يكون حجم الحمل صغيرًا مقارنة بحجمه الكبير.



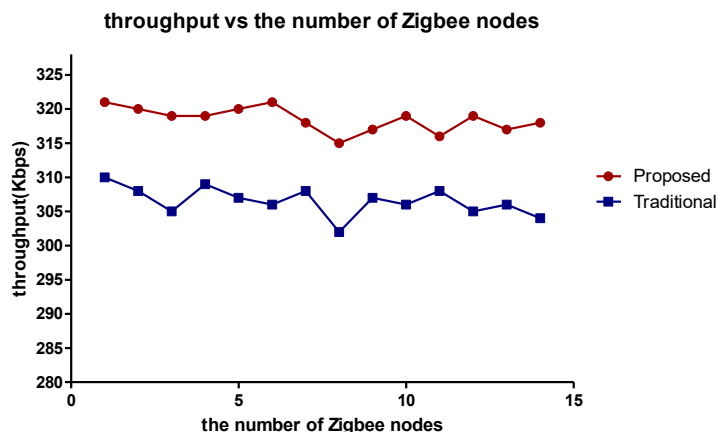
الشكل (٦) تأثير حجم الحمل على احتمالية محاولات الإرسال

٢-٤ تأثير تغير معدل النقل على احتمالية محاولات الإرسال: من أجل دراسة تأثير تغير معدل النقل عند حجم حمل ثابت يساوي (800Kbytes)، ومن أجل معدلات إرسال مختلفة ومن أجل حجم نافذة المنافسة ثابتة. سيكون الآلية المقترحة أكثر كفاءة في البيئات ذات معدلات النقل السريعة، حيث أنه كلما كان معدل النقل أسرع، كلما زاد احتمال محاولة النقل عندما يكون حجم نافذة المنافسة ثابتاً ويحتاج إلى زمن حيز زمن أقل لإنجاز الإرسال الناجح. كما موضح بالشكل (7)



الشكل (٧) احتمالية الإرسال الناجح كتابع لمعدل الإرسال.

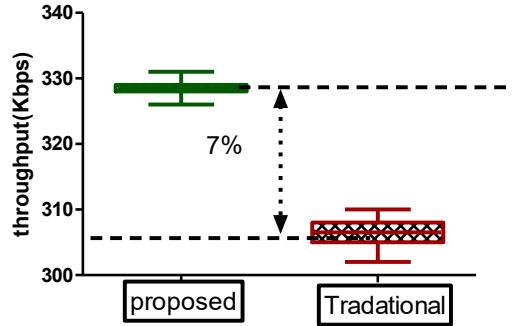
فعند العمل عند معدل نقل يصل إلى 25Mbps ازداد احتمالية الإرسال الناجح ويستلزم زمن حيز يصل إلى 150 ميكرو ثانية ، و كلما انخفض معدل النقل انخفضت احتمالية الإرسال الناجح و استلزم زمن حيز أكبر ليصل إلى ٥٠٠ ميكرو ثانية عند معدل 5Mbps .  
ومن أجل المقارنة بين عمل الآلية المقترحة بعد انتهاء مؤقت NVA لشبكة Wi-Fi والحالة العادية للعمل من أجل وجود عدد مختلف من عقد Zigbee ضمن بيئة التداخل بين الشبكتين كما في الشكل (8).



الشكل (٨) تغير معدل التدفق كنسبة العقد بين الطريقة المقترحة والطريقة التقليدية

أحد الأشياء التي يجب ملاحظتها هو أن التغيير في معدل التدفق لا يزيد بشكل كبير حتى مع زيادة عدد العقد. ويعني ذلك هذا أن نقل البيانات يمكن أن يتم بطريقة فعالة حتى في بيئة إنترنت الأشياء لأن تأثير التداخل ينخفض مع وجود احتمال نقل بيانات مناسب حتى عندما تكون الشبكة مزدحمة. وتكون نسبة التحسين بمقدار 7% كما موضح بالشكل (٩)

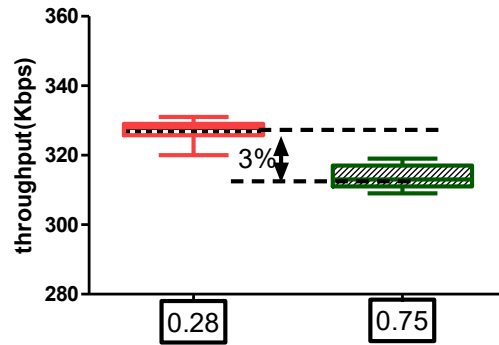
throughput vs the number of Zigbee nodes



الشكل (٩) مقدار التحسين في معدل التدفق بين الطريقة المقترحة والطريقة التقليدية

ويظهر تأثير تغير قيم احتمالية الإرسال  $P$  في الحيز الزمني الشاغر وعدم الإرسال باحتمالية  $(1-P)$  إلى الحيز التالي على معدل التدفق. فمن أجل قيمتين لاحتمالية الإرسال  $(0.28, 0.75)$  سيكون الفرق بين معدل التدفق بحدود 3% والسبب زيادة معدل التدفق مع انخفاض احتمالية الإرسال لأنه يقلل احتمالية التصادم في البيئة المزدحمة والمتداخلة كما في الشكل (١٠)

throughput vs probability of sending

الشكل (١٠) تغير قيم احتمالية الإرسال  $P$  على معدل التدفق للطريقة المقترحة

## ٥- الاستنتاجات والتوصيات:

يتلخص العمل السابق بالنقاط التالية:

- تم استخدام نمط DCF الخاص بنقل بيانات في الزمن الغير حقيقي بهدف تمكين شبكات Zigbee المنخفضة الاستطاعة ومعدل نقل البيانات من الوصول إلى الوسط المتشارك وإرسال بياناتها بنجاح في بيئة إنترنت الأشياء.

- تم إيضاح تأثير حجم الحمل على احتمال الإرسال الناجح، فقدت ازدياد الاحتمالية للإرسال الناجح بانخفاض حجم الرزم.
- إن استخدام معدلات إرسال عالية حقق فائدتين زيادة احتمالية الإرسال الناجح من جهة وانخفاض حجم الحيز الزمن المناسب الذي يحقق احتمالية الإرسال بنجاح فعند العمل عند معدل نقل يصل إلى 25Mbps ازداد احتمالية الإرسال الناجح ويستلزم زمن حيز يصل إلى 150 ميكرو ثانية، وكلما انخفض معدل النقل انخفضت احتمالية الإرسال الناجح واستلزم زمن حيز أكبر ليصل إلى ٥٠٠ ميكرو ثانية عند معدل 5Mbps.
- ن التغيير في معدل التدفق لا يزيد بشكل كبير حتى مع زيادة عدد العقد. ويعني ذلك هذا أن نقل البيانات يمكن أن يتم بطريقة فعالة حتى في بيئة إنترنت الأشياء لأن تأثير التداخل ينخفض مع وجود احتمال نقل بيانات مناسب حتى عندما تكون الشبكة مزدحمة. وتكون نسبة التحسين بمقدار 7% مقارنة بالطريقة التقليدية.
- يلعب تأثير تغير قيم احتمالية الإرسال P في الحيز الزمني الشاغر وعدم الإرسال باحتمالية (1-P) إلى الحيز التالي على معدل التدفق. فمن أجل قيمتين لاحتمالية الإرسال (0.28,0.75) سيكون الفرق بين معدل التدفق بحدود 3% والسبب زيادة معدل التدفق مع انخفاض احتمالية الإرسال مما يقلل احتمالية التصادم في البيئة المزدحمة والمتداخلة.

## ٦-المراجع:

- [1] S.Danbatta, A. Varo, “Comparison of Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi, and Bluetooth Wireless Technologies Used in Home Automation” IEEE 2019.
- [2] T. Qiu, N. Chen, K. Li, M. Atiqzaman, and W. Zhao, “How can heterogeneous internet of things build our future: A survey,” IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 20, no. 3, pp. 2011–2027, 2018.
- [3] H. Fotouhi, A. Causevic, K. Lundqvist, and M. Björkman, “Communication and security in health monitoring systems—a review,” in 2016 IEEE COMPSAC, vol. 1. IEEE, 2016, pp. 545–554.
- [4] J. S. Han, S. H. Lee, H. S. Kim, and Y. H. Lee, “Mitigation of co-channel interference in ZigBee,” in Proc. KICS ICC 2011, pp. 908-909, Korea, Feb. 2011.
- [5] G. Shi and K. Li, *Signal interference in WiFi and ZigBee networks*. Springer, 2017.
- [6] Yang D, Xu Y and Gidlund M. *Wireless coexistence between IEEE 802.11- and IEEE 802.15.4-based networks: a survey. Int J Distrib Sens N* 2011; 7: 912152
- [7] F. X. Wibowo, M. A. Gregory, K. Ahmed, and K. M. Gomez, “Multidomain software defined networking: research status and challenges,” Journal of Network and Computer Applications, vol. 87, pp. 32–45, 2017
- [8] Xiuzhen Guo, Yuan He, Jia Zhang, and Haotian Jiang. *WIDE: Physical-level CTC via digital emulation. IEEE/ACM Transactions on Networking*, 29(4):1567–1579, 2021
- [9] Ruofeng Liu, Zhimeng Yin, Wenchao Jiang, and Tian He. *XFfi: Cross-technology IoT Data Collection via Commodity Wi-Fi. In Proceedings of IEEE ICNP*, 2020.
- [10] Dan Xia, Xiaolong Zheng, Fu Yu, Liang Liu, and Huadong Ma. *WiRa: Enabling cross-technology communication from Wi-Fi to LoRa with IEEE 802.11ax. In Proceedings of IEEE INFOCOM*, 2022.
- [11] Souhila Ait Hacène Ouhadda, Samia Chibani Sadouki, Achour Achroufene, Abdelkamel Tari “A Discrete Adaptive Lion Optimization Algorithm for

*QoS-Driven IoT Service Composition with Global Constraints*". ; Journal of Network and Systems Management , Volume32(Issue2) ,April **2024**.