

دراسة تحسين الوصول العشوائي في بروتوكول IEEE802.11 ad لملائمة زيادة عدد المستخدمين في تطبيقات انترنت الأشياء

د.م. ايلي خليل

ملخص

يدعم بروتوكول IEEE802.11ad الشبكات اللاسلكية المحلية المعتمدة على الأمواج المليمترية والتي أمنت معدلات نقل بيانات كبيرة مما دفع لأن تكون البنية الفيزيائية لشبكات الجيل القادم اللاسلكية ، الأمر الذي حتم تطوير بروتوكولات خاصة لدعم تقنيات تشكيل حزمة الإشعاع بما يلائم الاشارات المليمترية.

ومع الازدياد المضطر بعدد الأجهزة المتوقع أن تتصل بالشبكة واعتماد تطبيقات انترنت الأشياء ، ازدادت الحاجة لتطوير هذا البروتوكول بهدف تحسين آلية الوصول العشوائي وامكانية اتصال عدد أكبر من التجهيزات.

ندرس في هذا البحث هذه المشكلة ونشرح الطرائق المقترحة لتحسين الوصول العشوائي ونبين عيوب ومزايا هذه الخوارزميات

Improve the Random Access in IEEE802.11 ad To accommodate the increase in the number of users in IoT applications

The IEEE802.11ad protocol supports local wireless networks based on millimeter waves, which have proposed large data transmission rates, prompting the physical structure of next-generation wireless networks to be, which necessitated the development of special protocols to support radiation beamforming techniques that are compatible with millimeter signals. With the expected forced increase in the number of devices to connect to the network and the adoption of IoT applications, the need to develop this protocol in order to improve the random access mechanism and the connectivity of a greater number of equipment has increased. In this paper, we study this problem, explain suggested methods to improve random access, and show the disadvantages and advantages of these algorithms

1- مقدمة:

إن التزايد الكبير في عدد الأجهزة التي ستتصل مع الشبكة اللاسلكية وتطور تطبيقات المدن الذكية وانترنت الأشياء و العمل المتداخل بين الشبكات اللاسلكية المحلية وشبكات الجيل الخامس الخليوية ، دفع باتجاه تطوير بروتوكولات للشبكة اللاسلكية المحلية بما يدعم الوصول العشوائي لعدد كبير من التجهيزات وتأمين تجنب التصادم الذي قد يحدث عند ازدياد عدد التجهيزات المتصلة.

أول البروتوكولات التي قدمت لدعم شبكات اللاسلكية المعتمدة على الأمواج المليمترية هو بروتوكول بروتوكول IEEE802.15.3c المعتمد في الشبكات اللاسلكية الشخصية Wireless personal area network (WPAN) [1] ،الذي يعتمد على تأسيس اتصال بين أجهزة ضمن مسافة قصيرة، والذي اعتمد لدعم تقنية انترنت الأشياء (IOT) ، الشرط اللازم لتنفيذ هذا النموذج هو مفهوم الأشياء الذكية، والتي هي كائنات لها "هوية" في الشبكة، والتي يمكنها معالجة البيانات والتواصل والتفاعل فيما بينها، وندعو عملية تواصل الآلات مع بعضها البعض بالاتصال من آلة لألة M2M ، ثم اعتمد بروتوكول الشبكات اللاسلكية المحلية IEEE802.11ad (WLAN) عام 2012 [2]، ولكن أحد أهم عيوب هذا البروتوكول هو قصوره عن دعم اتصال عدد أكبر من 8 تجهيزات في آن واحد الى الشبكة حيث سيزداد احتمال حدوث تصادم خلال مرحلة تدريب الشعاع ما سنبيين لاحقاً، مما دفع لتطوير بروتوكول IEEE802-11 ay والذي لايزال قيد التطوير وقد اقترحت عدة آليات لتقليل احتمال حدوث تصادم سندرسها ونقارن أداءها في هذا البحث.

2- هدف البحث:

يهدف هذا البحث الى دراسة مشكلة التصادم والوصول العشوائي في بروتوكول IEEE802.11ad المقترح للشبكات اللاسلكية التي تعمل على الأمواج الميليمترية ودراسة الطرائق المقترحة لتحسين عملية الوصول العشوائي في حالة زيادة عدد الأجهزة التي تحاول الاتصال في الشبكة مما يساهم في دعم تطبيقات اتصالات جهاز لجهاز و تطبيقات انترنت الأشياء.

3- بروتوكول IEEE802.11 ad :

اعتمدت IEEE802.11ad بروتوكولاً يستند الى اختيار الشعاع من أجل تحقيق تشكيل الحزمة التماثلي عبر ثلاث مراحل [2]:

1- مرحلة مسح القطاع (SLS (Sector Level Sweep): حيث يتم ضبط هوائيات الإرسال لكل من البادئ و المجيب على النمط غير الموجه Quasi-Omni بالتناوب ويتم إرسال الإشارات التدريبية لتحديد أفضل قطاع للإرسال كما هو مبين في الشكل (1).

2- مرحلة تحسين الشعاع (BRP) (Beam Refinement Phase): حالما يتم تحديد القطاع تقوم الBRP بتدريب مصفوفات هوائيات الاستقبال لاختيار شعاع الهوائي الأمثل .

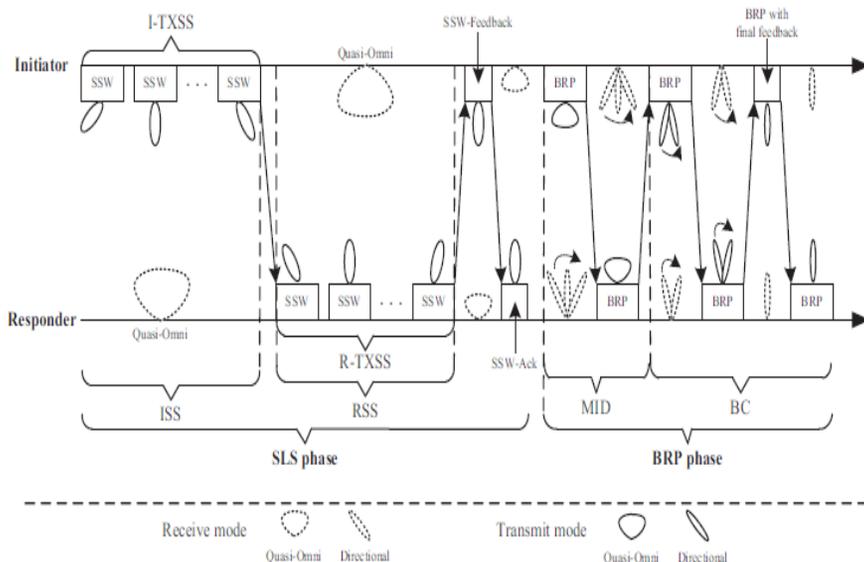
3- مرحلة تتبع الشعاع (BT) (Beam Tracking Phase): تُستخدم مرحلة تتبع الشعاع الأمثل أثناء نقل البيانات لضبط لتغييرات القناة، ويتم تنفيذ تتبع الشعاع

بواسطة إلحاق حقول التدريب (TRN) بحزم البيانات. وهي تحتوي أيضًا على حقل التحكم بالبرج التلقائي (AGC). إن حقل TRN هي مخصصة لكل شعاع من أجل تخمين القناة CE لتحسين دقة تقدير زمن التأخير.

تسمى المحطة (STA) التي تبدأ التدريب لتكوين الشعاع بالبادئ ، ويسمى المستلم بالمستجيب، تتألف مرحلة الـ SLS من مسح القطاع الابتدائي initiator (ISS) ، sector sweep ، ومسح قطاع المستجيب (RSS) responder sector sweep ، ومسح التغذية العكسية للقطاع (SSW-FB) sector sweep feedback ، والاعتراف بالقطاع (SSW-ACK) .

الآن و بعد تحديد القطاع الامثل لهوائيات الإرسال لكل من البادئ والمستجيب، تقوم مرحلة BRP بتدريب جانبي الإرسال والاستقبال لتحسين الحزمة التي اختيرت خلال الـ SLS بشكل منكرر؛ حيث تتكون مرحلة BRP من مرحلة التأسيس، ومرحلة كشف هوية القطاع المتعدد (MID) Multiple Sector ID Detection ومرحلة الجمع بين الحزم (BC) .

دراسة تحسين الوصول العشوائي في بروتوكول IEEE802.11 ad لملائمة زيادة عدد المستخدمين في تطبيقات انترنت الأشياء



الشكل (1) إجراء تشكيل الشعاع النموذجي

يظهر الشكل (2) إطار الـ MAC النموذجي في IEEE802.11ad [2] ، وتسمى القناة المشكلة بالقناة الموجهة متعددة الغيغا بايت (Directional-Multi Gigabit) DMG ، وتوصف هذه القناة بأنها تتعلق بالعمل في نطاق تردد يحتوي على قناة ذات تردد فوق 45 جيجا هرتز.

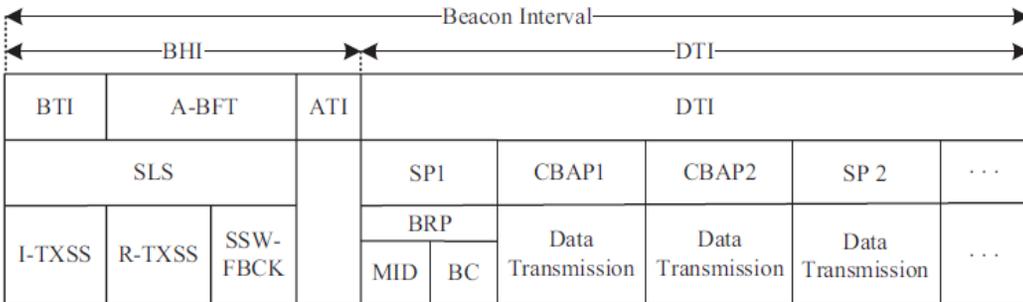
يتم تنسيق الوصول عبر القناة DMG في IEEE802.11ad بواسطة الـ DMG لنقطة الوصول (AP) أو نقطة التحكم في مجموعة الخدمات الأساسية الشخصية (PCP) وفقاً لفاصل زمني (BI) بواسطة جدول مصمم بشكل مناسب؛ حيث يمكن تضمين معلومات الجدولة في DMG Beacon بعد تلقي معلومات الجدولة، تصل الـ DMG للمحطة STA إلى المستلم استناداً إلى قواعد الوصول وفقاً لفترة محددة (BI) Beacon interval.

تقسم الفترة الزمنية BI كما هو مبين في الشكل (2) إلى قسمين : مقدمة الفاصل الزمني Data Transfer (BHI beacon header interval) ، وفترة نقل البيانات (DTI interval).

يتألف القسم الأول (BHI) من فاصل الإرسال (BTI beacon transmission interval) ، و تدريب تكوين الشعاع المترابط association beamforming (A-BFT training) ، و فاصل الإرسال المععلن announcement transmission interval(ATI).

بينما يتألف القسم الثاني (DTI) من فترات الخدمة المجدولة scheduled service (SPs) periods ، ومن فترات الوصول القائمة على التنافس consists of contention-based access periods (CBAPs).

يتم خلال المرحلة الأولى BHI إرسال DMG frames لانجاز مسح القطاع الإرسال للبادئ (I-TXSS) عبر جميع القطاعات وتسمى هذه الإطارات المرسله بـ SSW frame ، ويتم خلال مرحلة A-BFT إرسال DMG frames عبر محطة STA المتلقية، ثم فترة تدريب تكوين الشعاع The association beamforming training (ABFT) ؛ حيث تستخدم هذه الفترة لإجراء عمليات تكوين الشعاع للمحطات الجديدة التي تنضم إلى الشبكة.

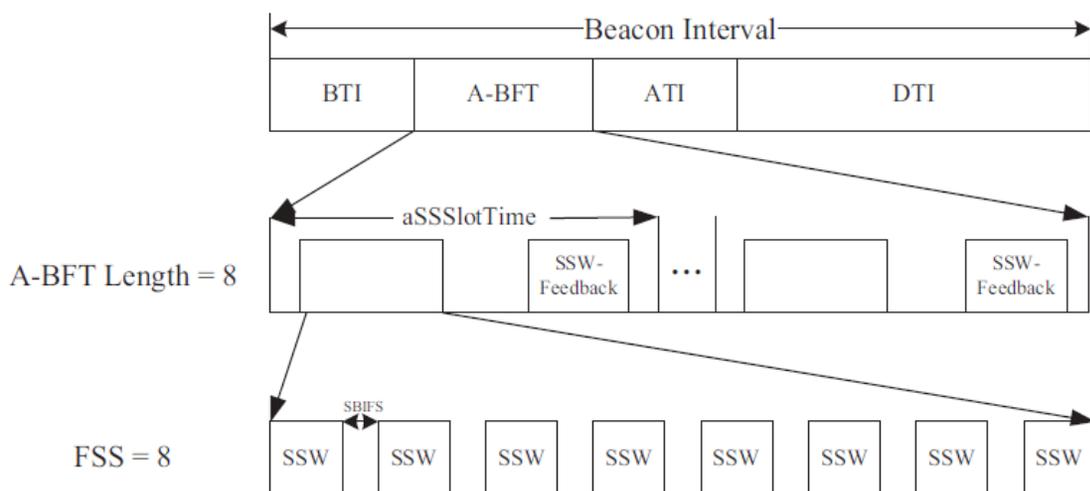


الشكل (2) إطار الـ MAC النموذجي في IEEE802.11ad

4- مشكلة التصادم في IEEE802.11ad:

بعد نهاية مرحلة BTI ، سوف تنجز عملية الـ RSS خلال المرحلة A-BFT بين المستخدم والمحطة STA كما يتضح من الشكل (3)، وذلك عبر إرسال إطارات SSW، تتكون مرحلة A-BFT من عدة فترات زمنية SLOTS (حتى 8 فتحات)، ويشار إلى عدد فتحات في حقل طول A-BFT لإطار الـ DMG الدليلي.

بعد تلقي إطار الـ DMG الدليلي من BTI، فإن المحطات تختار بشكل عشوائي slot لتنفيذ مرحلة الـ RSS باستخدام إطارات SSW .



الشكل (3) بنية تشكيل الحزمة A-BFT

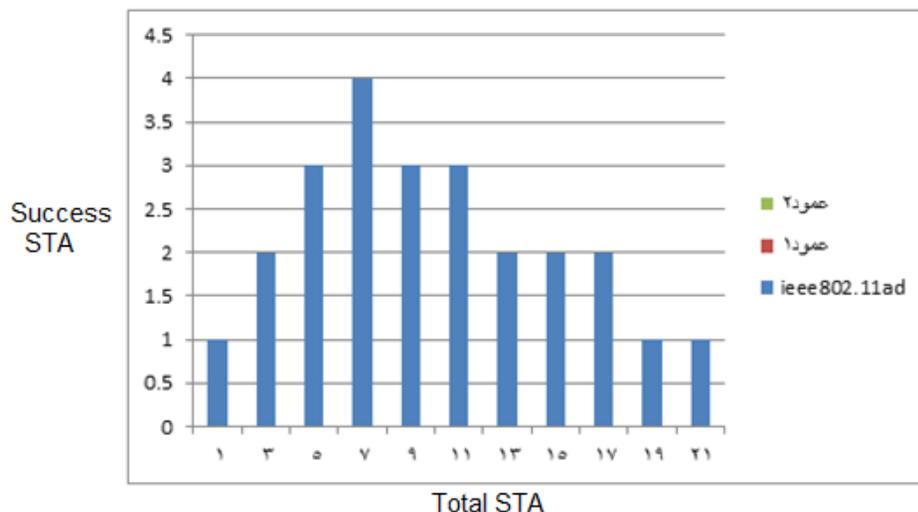
إذا تم تحديد نفس الـ SLOT من قبل اثنين أو أكثر من STAs لتنفيذ الـ RSS، سيحدث تصادم وقد تفشل عملية الـ RSS في هذه الـ SLOT، وبالتالي لن يرسل المستخدم إطار الـ SSW-FBCK في هذه الـ SLOT. عندها ستقوم المحطات التي فشلت بتنفيذ عملية الـ RSS بإعادة العملية مرة أخرى، حيث عرف بروتوكول IEEE802.11ad بارمترين الأول هو dot11RSSRetryLimit والثاني هو dot11RssBackoff، فإذا تجاوز الزمن الذي تفشل فيه المحطة STA في انجاز الـ A-BFT فترة البارامتر الأول dot11RSSRetryLimit فسوف تعيد المحطة المحاولة مرة ثانية لانجاز الـ A-BFT بعد فترة زمنية هي dot11RssBackoff [3]. إن مشكلة التصادم هذه مشكلة أساسية عند ازدياد عدد المستخدمين مما يجعل من الضروري التعامل معها بهدف دعم تطبيقات انترنت الأشياء واتصالات M2M.

نقوم الآن بإجراء محاكاة لحالة شبكة لاسلكية باعتماد بروتوكول IEEE802.11ad، تمت الدراسة من أجل بيئة داخلية Indoor عند التردد 60GHz وافترضنا وجود نقطة وصول AP واحدة و n محطة موزعة بشكل عشوائي في منطقة تغطية الـ AP وذلك ضمن قطر 25m وتم تحديد معامل امتصاص الاوكسجين في الغرفة $a = 0.2$ وتم تحديد استطاعة الارسال بـ 20dBm واعتبرنا زمن الفتحة الـ SLOT هو $5\mu s$

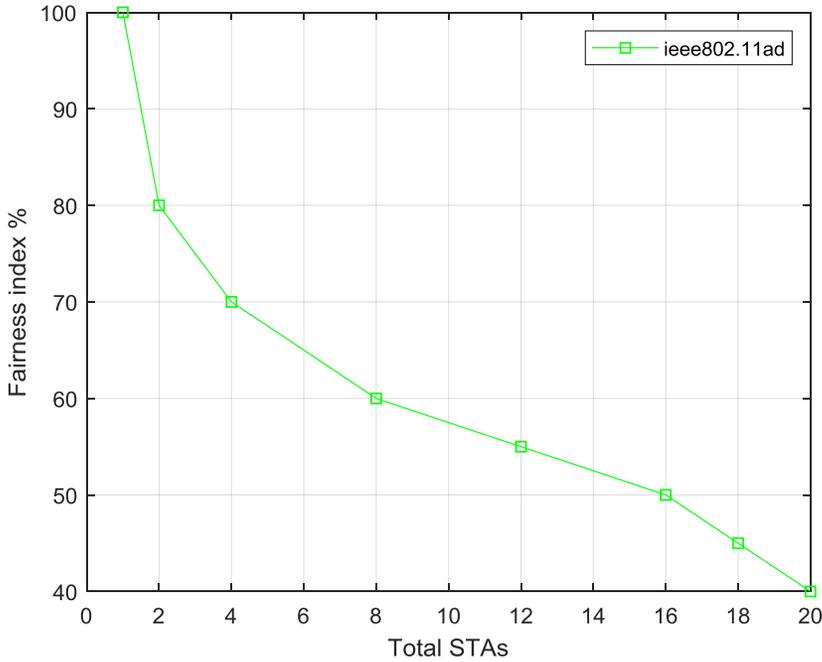
سنحسب عدد المحطات التي تتمكن من الوصول الناجح للشبكة وذلك مع ازدياد عدد المحطات الكلي من 1 حتى 21 ونبين النتائج في الشكل حيث يظهر بوضوح أن أكبر عدد تمك من الوصول الناجح للشبكة هو 4 محطات من أجل عدد محطات كلي 5 بينما ينخفض العدد بشكل كبير مع ازدياد عدد المحطات وذلك بسبب ازدياد حالات التصادم الناتج عن تزامن عدد طلبات الاتصال في مرحلة الـ A-BFT.

دراسة تحسين الوصول العشوائي في بروتوكول IEEE802.11 ad لملائمة زيادة عدد المستخدمين في تطبيقات انترنت الأشياء

كما قمنا بحساب معامل العدالة Fairness Index بالاعتماد على قاعدة Jain's Fairness index وتم رسم مخطط لعلاقة هذا المعامل مع ازدياد عدد المحطات حيث يتبين أيضاً أنه مع ازدياد عدد المحطات الى 4 ينخفض معامل العدالة الى 70% ويستمر التراجع ليصل 40% من أجل 20 محطة .



الشكل (4) عدد المحطات الواصلة بنجاح من أجل بروتوكول IEEE802.11ad



الشكل (5) معامل العدالة مقابل عدد المحطات الكلي في بروتوكول IEEE802.11ad

اقترحت في الآونة الأخيرة - ومع الازدياد المضطرب بعدد التجهيزات التي ستتصل مع الشبكة ومع التطبيق التدريجي لشبكات الجيل الخامس والتكامل الذي يجب أن يتم بين شبكات اللاسلكية المحلية وشبكات الجيل الخامس - عدة طرائق لتحسين عملية الوصول العشوائي وانجاز الـ A-BFT بشكل أكثر فعالية ، وسوف نعمل في بحثنا على دراسة هذه الطرائق وتبيان آلية عملها وإيجابياتها وسلبياتها، كما يقترح بروتوكول IEEE802.11ay - الذي لا يزال قيد التطوير - طريقة لتحسين عملية الوصول العشوائي وتفاذي التصادم عبر الاستفادة من مفهوم ترابط القنوات لزيادة امكانية الوصول ضمن الفتحة نفسها

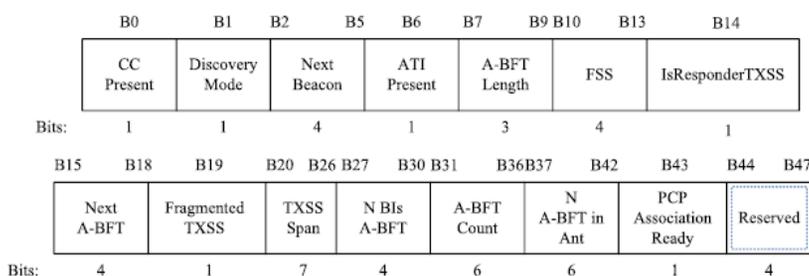
5- تحسين الوصول العشوائي في بروتوكول IEEE802.11ad عبر اعتماد بارامترات مرنة :

اقترحت طريقة لتقليل التصادم في A-BFT عبر اضافة بارامتر ثالث الى جانب البارامترين dot11RssBackoff و dot11RSSRetryLimit [4]، هو البارامتر FailedRssAttempt حيث يشير الى زمن الفشل في A-BFT ؛ حيث ستختار المحطة STA بشكل عشوائي رقم من المجال [0, dot11RSSRetryLimit-1] لتحديد زمن الانتظار ورقم عشوائي من [0, dot11RssBackoff-1] لاختيار زمن اعادة المحاولة ، وتهدف هذه الطريقة لجعل اختيار الأزمنة أكثر مرونة

6- تحسين الوصول العشوائي في بروتوكول IEEE802.11ad عبر اضافة فتحات اضافية قبل الفتحات الأساسية مع اضافة زمن عودة ثانوي (SBA) :

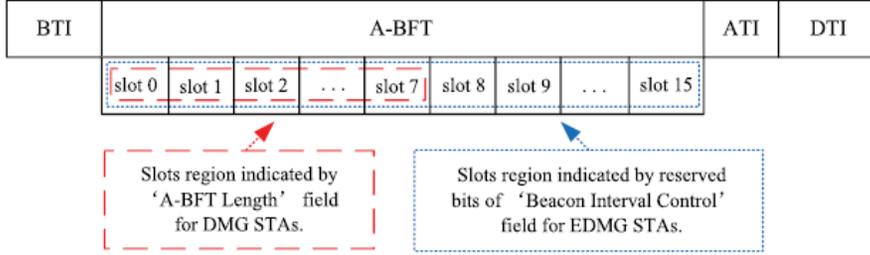
تم اقتراح طريقة لزيادة عدد فتحات الوصول العشوائي بعد الفتحات الرئيسية بالاستفادة من البتات المحجوزة الزائدة في إطار DMG ثم اضافة زمن عودة ثانوي لكل محطة بهدف تقليل احتمالات التصادم [5]

يبين الشكل بنية عنصر التحكم لأطار DMG حيث حقل "A-BFT leanght" يحدد مجال فتحات الABF.



الشكل (6) بنية عنصر التحكم لإطار DMG

تقترح هذه الطريقة استعارة جزء من البتات المحجوزة من B44 حتى B47 المبينة في الشكل واعمالها كفتحات اضافية يشار لها بالحقن E-A-BFT length كما هو مبين في الشكل (7)



الشكل (7) الفتحات المضافة بعد الفتحات الرئيسية

سيقوم المستخدمون باختيار أحد الفتحات من 0 حتى $1 - A-BFT\ length$ E-A-BFT length

ثم اقترحت اضافة فترة عودة ثانية (Secondary Backoff) لزيادة امكانية الوصول الناجح عبر اضافة فترة انتظار ثانية في حال حدوث تصادم ثاني بين جهازين في نفس الفتحة .

تختار كل محطة STA بالدخول عند مرحلة A-BFT عشوائياً فتحة A-BFT و تختار مؤقت عودة عشوائي داخل كل فتحة A-BFT ، أي مؤقت عودة ثانوي . Secondary Backoff في بداية A-BFT المحدد فبالتالي و بدلاً من إرسال إطارات SSW لتنفيذ R-TXSS على الفور ، يبدأ EDMG STA العد التنازلي حتى يصل مؤقت التراجع الثانوي إلى الصفر ، وبالتالي وحتى لو تم اختيار نفس الفتحة فعلى الأغلب لن تكون مؤقتات التراجع الثانوية الخاصة بكل محطة هي نفسها . نتيجة لذلك ، فإن EDMG STA صاحبة زمن تراجع ثانوي أقصر سترسل إطارات

SSW أولاً، وبالتالي يمكن تجنب الاصطدام. وفي حال اختيار نفس زمن العودة الثانوي وحدث تصادم آخر سيتم زيادة هذا الزمن وإعادة المحاولة من جديد .

7- تحسين الوصول العشوائي في بروتوكول IEEE802.11ad عبر إضافة فتحات إضافية بعد الفتحات الأساسية (BA-BFT):

اقترحت طريقة أخرى في [6] لزيادة عدد الفتحات في A-BFT عبر إضافة فتحات إضافية قبل الفتحات الرئيسية كما هو مبين في الشكل وذلك عبر استعارة فتحات من مرحلة BTI ، وتمكن هذه الطريقة من إضافة عدد أكبر من الفتحات ؛ حيث لن نكون مقيدين بالعدد المحدود للبتات المحجوزة في الطريقة السابقة.

يجب تحقيق التوافق مع IEEE802.11 ad القياسية عبر ضبط حقل الفترة الزمنية ليتلائم مع الفتحات الإضافية.



الشكل (8) الفتحات الإضافية قبل الفتحات الرئيسية

8- النتائج:

سنجري الآن محاكاة لهذه الطرائق الثلاثة من أجل نفس البارامترات المستخدمة عند إجراء المحاكاة من أجل بروتوكول IEEE802.11 المذكورة سابقاً ومع أخذ عدد فتحات إضافية مساوي لـ 8 من أجل طريقة SBA-BFT وعدد فتحات إضافية مساوي لـ 16 من أجل طريقة BF

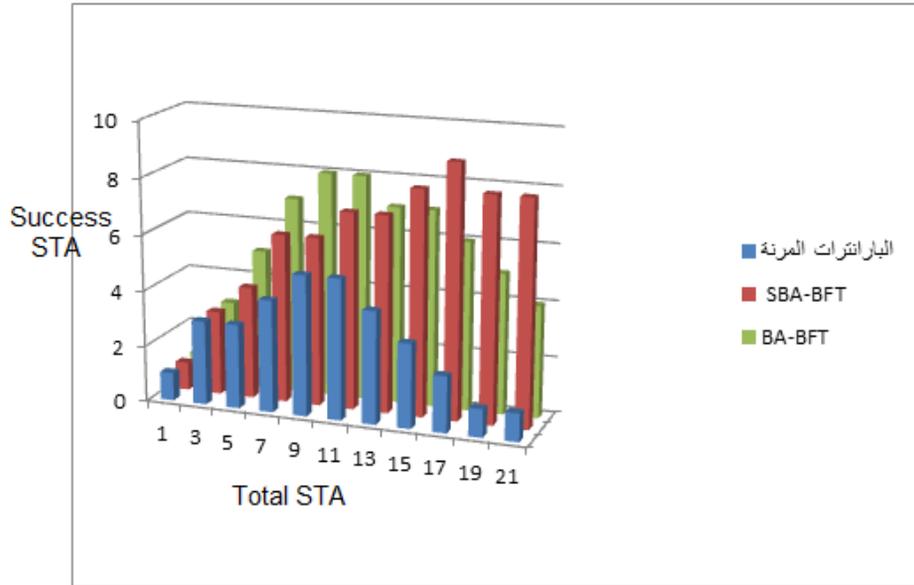
نلاحظ من الشكل (9) أن طريقة البارامترات المرنة قد زادت من عدد الأجهزة التي تمكنت من الوصول الناجح في مرحلة A-BFT بشكل بسيط عن حالة بروتوكول IEEE802.11ad ولكننا تراجعنا عند ازدياد عدد الأجهزة الكلي

بينما تمكنت طريقة SBA-BFT من زيادة عدد الأجهزة التي تمكنت من الوصول الناجح حيث بلغ العدد 9 أجهزة من أجل عدد كلي يبلغ 17 جهاز وتراجع عدد أجهزة الوصول الناجح الى 8 من أجل 21 جهاز كلي

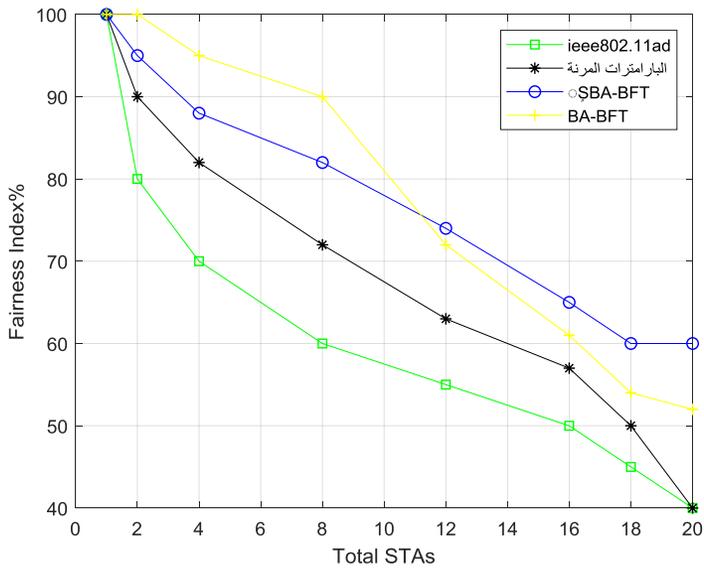
بينما قدمت طريقة BA-BFT أفضل أداء من أجل عدد مستخدمين كلي أقل من 11 حيث أمّنت الوصول الناجح لـ 8 لأجهزة ولكن تراجع أداء مع زيادة عدد المستخدمين.

سنحسب الآن معامل العدالة Fairness Index وفق نفس المعيار المعتمد عندما تم حسابه من أجل حالة بروتوكول IEEE802.11ad ونرسم علاقته مع العدد الكلي للأجهزة في الشكل (10) ونلاحظ من الشكل أن طريقة BA-BFT تقدم أداء أفضل من أجل عدد أجهزة أقل من 10 بينما تقدم طريقة SBA-BFT الأداء الأفضل عند زيادة العدد الكلي للمحطات لأكثر من 10 .

دراسة تحسين الوصول العشوائي في بروتوكول IEEE802.11 ad لملائمة زيادة عدد المستخدمين في تطبيقات انترنت الأشياء



الشكل (9) عدد الأجهزة الواصلة بنجاح مقابل عدد الاجهزة الكلية من أجل الطرائق الثلاث المدروسة



الشكل (10) معامل العدالة مقابل عدد الأجهزة الكلي من أجل الطرائق المدروسة

9- المراجع:

- [1] "IEEE Standard for Information technology– Local and metropolitan area networks– Specific requirements– Part 15.3: Amendment 2: Millimeterwave-based Alternative Physical Layer Extension," IEEE Std 802.15.3c- 2009 (Amendment to IEEE Std 802.15.3-2003), pp. 1–200, Oct 2009.
- [2] "ISO/IEC/IEEE International Standard for Information technology– Telecommunications and information exchange between systems– Local and metropolitan area networks–Specific requirements-part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 3: Enhancements for Very High Throughput in the 60 GHz Band (adoption of IEEE Std 802.11ad-2012)," ISO/IEC/IEEE 8802-11:2012/Amd.3:2014(E), pp. 1– 634, March 2014
- [3]] Pei Zhou, Kaijun Cheng, Xiao Han, Xuming Fang, Yuguang Fang, Rong He, Yan Long, and Yanping Liu;" IEEE 802.11ay based mmWave WLANs: Design Challenges and Solutions" , DOI 10.1109/COMST.2018.2816920, IEEE Communications Surveys & Tutorials ,2018.
- [4] S. G. Kim *et al.*, "On Random Access in A-BFT," IEEE 802.11 Documents, Jul. 2016. [Online]. Available: https://mentor.ieee.org/80211/documents?is_dcn=SSW&is_group=00ay
- [5] P. Zhou, X. Fang, Y. Fang, Y. Long, R. He and X. Han, "Enhanced Random Access and Beam Training for Millimeter Wave Wireless Local Networks With High User Density," in *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 16, no. 12, pp. 7760-7773, Dec. 2017, doi: 10.1109/TWC.2017.2753779.
- [6] K. Johnsson *et al.*, "Scalable A-BFT," IEEE 802.11 Documents, Sep. 2016. [Online]. Available: https://mentor.ieee.org/802.11/documents?is_dcn=SSW&is_group=00ay.

