دراسة وتحليل شبكات WLAN - طبقة MAC وتقييم معدل النقل الأعظمي

1st Mohammed Saeed Kasem
Communications and Networks
Sudan Academy of Sciences
Khartoum, Sudan
Alhaidari72@gmail.com

2nd Prof/ khalid Hamid Bilal
Head of departement of communication
university of science &technolgy
Khartoum, Sudan
khalidhamidk9@gmail.com

الملخص

1

من أهم العوامل التي يجب مراعاتها عند تصميم شبكة لاسلكية محلية، قياس معدل نقل المعطيات الأعظمي (الفعلي) والذي يمكن تحقيقه وفقاً لمعدل نقل معطيات اسمي. حيث أن سرعة النقل المعطاة مع كل معيار لشبكات WLAN، تعطي فقط سرعة الاتصال بين المحطات. ولكن القياس الفعلي لتبادل المعطيات بين المحطات، يعتمد على عدة عوامل أخرى.

يقدم هذا البحث دراسة شاملة وتحليل ونماذج البنى لشبكات WLAN وفق معايير IEEE 802.11، وبشكل خاص الطبقة الفيزيائية PHY وطبقة وصلة المعطيات DLL. تم استخدام طريقتين لتقييم معدل نقل المعطيات الأعظمي Throughput في شبكات WLAN المتوافقة مع معيار Wi-Fi وهما: (1) استخدام برامج قوية متوفرة ومخصصة لمحاكاة شبكات الحاسوب والاتصالات، و(2) تنفيذ عملي لشبكة WLAN مع نظام توزيع بدون وجود عوائق. في كلتا الحالتين، تم الحصول على نفس الحد الأقصى لمعدل نقل المعطيات وبقيمة حوالي النصف من معدل النقل البتي المثالي، كما هو محدد وفق معيار IEEE 802.11b.

مستدامة

Abstract:

Study and analysis of WLAN networks - MAC layer and evaluation of maximum transfer rate

A comprehensive study, analysis and architectural models of IEEE 802.11 family of WLAN standards have been presented.

A brief covering of WLAN Physical (PHY) Layer were presented. While, a detailed WLAN Data Link Layer had been introduced and analyzed. Two methods are used for the Throughput evaluation of WLAN compatible with Wi-Fi standard: (1) Utilization of available powerful simulation software intended to computer and communication networks, and (2) a practical implementation of WLAN – as DS system, without drawbacks against AP. In both cases, the upper bound of achievable throughput were the same, which is about half of the typical bit rate as specified by IEEE 802.11b.

Key words: WLAN, IEEE 802.11, Throughput, PHY&DL Layers, OPNET IT Guru, Qcheck

1. مقدمة:

تم تقديم بشيء من التفصيل طبقة تبادل المعطيات (أو طبقة وصلة المعطيات Data Link Layer)، والتي تشكل الركيزة الأساسية للشبكات اللاسلكية المحلية، حيث تحدد بروتوكولات العمل ضمن هذه الطبقة بشكل كبير معدل نقل المعطيات الأعظمي Throughput لشبكات WLAN.

دراسة معدل نقل المعطيات من خلال تنفيذ محاكاة للشبكات اللاسلكية المحلية، لما توفره المحاكاة من وقت وجهد لمصمم الشبكة وتعطي تقييماً أولياً جيداً عن الشبكة، وذلك بالاعتماد على استخدام أدوات قياس (برمجيات) متوفرة على شبكة الانترنت لقياس معدل نقل المعطيات الأعظمي (الفعلي) لشبكة لاسلكية محلية. لقد تم تنفيذ عملية المحاكاة لشبكة WLAN متوافقة مع المعيار IEEE 802.11b، باستخدام برنامج OPNET IT Guru. هذا البرنامج متوفر مجاناً للأغراض الأكاديمية ويعتبر من أهم البرامج لمحاكاة شبكات الكمبيوتر وشبكات الاتصالات، والذي يمكن تحميله من موقع الشركة.
من أجل القياس العملي، فقد تم تنصيب وإعداد شبكة WLAN مخبرية وبالاستفادة من إمكانيات مخدم Server مربوط مع الشبكة، لتقييم معدل نقل المعطيات الأعظمي. من أجل هذا الهدف، تم استخدام كل من برنامج Qcheck وبرنامج IxChariot والمتوفران أيضاً ويمكن تحميلهما من شبكة الانترنيت.

2. خدمات IEEE 802.11

يعرف معيار IEEE 802.11 تسع خدمات يجب تأمينها من قبل شبكة WLAN لتقوم بوظيفة مكافئة لشبكة ايثرنت LAN. يلخص الجدول (1) هذه الخدمات ويوضح طريقتين لتصنيف هذه الخدمات. يمكن أن يكون مزود الخدمة محطة عمل أو نظام توزيع Distribution System (DS) (نظام يستخدم للوصل البيني بين عدة مجموعات خدمة أساسية BSSs ولشبكات LANs لتكوين مجموعة خدمة موسعة EES). تؤمن خدمات التوزيع بين مجموعات الخدمة الأساسية BBS، والتي يمكن تنفيذها في AP أو في أي جهاز آخر ذي غرض خاص موصول إلى نظام التوزيع.

الجدول (1) خدمات شبكات WLAN وفق معيار IEEE 802.11

الخدمة	مزود الخدمة	الخدمة مستخدمة لدعم
التجميع	نظام التوزيع	تسليم MSDU
التخويل	المحطة	ولوج LAN والأمن
إلغاء التخويل	المحطة	ولوج LAN والأمن
إلغاء التجميع	نظام التوزيع	تسليم MSDU
التوزيع	نظام التوزيع	تسليم MSDU
التكامل	نظام التوزيع	تسليم MSDU
تسليم MSDU	المحطة	تسليم MSDU
الخصوصية	المحطة	ولوج LAN والأمن
إعادة التجميع	نظام التوزيع	تسليم MSDU

تستخدم ثلاث من هذه الخدمات للتحكم بالدخول إلى الوسط، وكذلك للتحكم بالخصوصية، وبقية هذه الخدمات لدعم تسليم وحدات معطيات الخدمة MAC Service Data Unit (MSDU) لطبقة التحكم بالدخول إلى الوسط الفرعية (أو الجزئية) من طبقة وصلة المعطيات. إن وحدة MSDU عبارة عن كتلة معطيات تمرر إلى الأسفل من مستخدم MAC إلى طبقة MAC، وهي نموذجياً عبارة عن وحدة معطيات بروتوكول LLC (LLC PDU). إذا كانت وحدة MSDU طويلة جداً ويتعذر إرسالها في إطار MAC واحد، فإنه يمكن أن تجزأ وترسل في سلسلة من إطارات MAC.

1-2 توزيع الرسائل ضمن DS

إن الوظيفتين المتضمنتين في توزيع الرسائل في نظام DS هما التوزيع والتكامل. التوزيع هو الخدمة الأساسية المستخدمة من قبل المحطات لتبادل إطارات MAC، عندما يكون على الإطار أن يجتاز DS ليخرج من محطة في BSS إلى محطة في BSS أخرى. أما إذا كانت المحطتان تتصلان مع بعضهما ضمن نفس مجموعة الخدمة الأساسية BSS، فإن خدمة التوزيع تذهب منطقياً عبر AP. تمكن خدمة

التكامل من نقل المعطيات بين محطة موجودة على شبكة LAN وأخرى على شبكة WLAN. يشير التكامل إلى شبكة سلكية مرتبطة فيزيائياً إلى نظام توزيع DS. تهتم الخدمة المتكاملة بترجمة أي عنوان وكذلك بمنطق تحويل الوسط اللازم لتبادل المعطيات.

2-2 الخدمات المتعلقة بالارتباط

إن الغرض الأساسي لطبقة MAC هو نقل كتل MSDUs بين كيانات MAC والذي ينجز بواسطة خدمة التوزيع. ولكي تعمل هذه الخدمة، فإنها تتطلب معلومات عن المحطات ضمن ESS، والتي تؤمن بدورها بواسطة الخدمة المتعلقة بالارتباط. وقبل أن تستطيع خدمة التوزيع تسليم أو استقبال معطيات او استقبال معطيات لمحطة عمل، فإن تلك المحطة يجب أن تكون مرتبطة associated ولفهم عملية الارتباط سنوضح أولاً مفهوم قابلية الحركة Mobility.

هناك ثلاثة نماذج من الانتقالات مستندة على قابلية الحركة وهي:

عدم الانتقال: المحطة من هذا النوع إما أن تكون ثابتة أو تتحرك فقط ضمن مجال الاتصال المباشر للمحطات التي تتصل مع بعضها ضمن مجموعة خدمة أساسية BSS واحدة.

انتقال BSS: وهذا الانتقال معرَّف كحركة محطة عمل من BSS إلى BSS أخرى ضمن نفس مجموعة الخدمة الموسعة ESS. يتطلب تسليم المعطيات لمحطة العمل في هذه الحالة، أن تكون إمكانية العنونة قادرة على تمييز الموضع الجديد لمحطة العمل.

انتقال ESS: يعرف هذا الانتقال كحركة محطة عمل من BSS في ESS إلى BSS في ESS أخرى. هذه الحالة مدعومة فقط، إذا كانت المحطة تستطيع الانتقال، حيث أنه لا يمكن ضمان الإبقاء على ارتباطات الطبقة الأعلى المدعومة وفق معيار IEEE 802.11.

في الواقع العملي يحدث انقطاع للخدمة، ومن أجل تسليم رسالة ضمن نظام توزيع DS، يجب أن تعلم خدمة التوزيع أين تتوضع محطة العمل الهدف، وبشكل خاص يحتاج نظام التوزيع DS لمعرفة هوية AP التي يجب أن تسلم الرسالة إليها كي تصل الرسالة إلى المحطة الهدف. ولتحقيق هذا المطلب يجب أن تحافظ محطة العمل على ارتباط مع AP ضمن مجموعة الخدمة الأساسية BSS الحالية. يوجد ثلاثة خدمات تتعلق بهذا المطلب:

الارتباط: يؤسس ارتباط ابتدائي بين المحطة و AP. وقبل أن تتمكن المحطة من إرسال أو استقبال إطارات معطيات على شبكة WLAN، فإنه يجب أن تُعرِّف هويتها وعنوانها. ومن أجل تحقيق ذلك، يجب أن تؤسس محطة العمل ارتباطاً مع AP ضمن BSS خاصة. تستطيع نقطة النفاذ اللاسلكية AP أن توصل هذه المعطيات إلى APs أخرى ضمن مجموعة الخدمة الموسعة ESS كي يسهل توجيهها وتسليم الإطارات المعنونة.

إعادة الارتباط: تمكن من نقل ارتباط مُؤسّس من AP إلى أخرى ويسمح ذلك لمحطة عمل نقالة بالتحرك من BSS الى أخرى.

فك الارتباط: إعلام من محطة عمل أو من AP بإنهاء ارتباط موجود. يجب على هذه المحطة إعطاء هذا الإعلام قبل ترك ESS أو قبل التوقف عن العمل ولكن تسهيلات إدارة MAC تحمي نفسها من المحطات التي تختفي دون إعلام.

3 التحكم بالدخول إلى الوسط وفق معيار IEEE 802.11

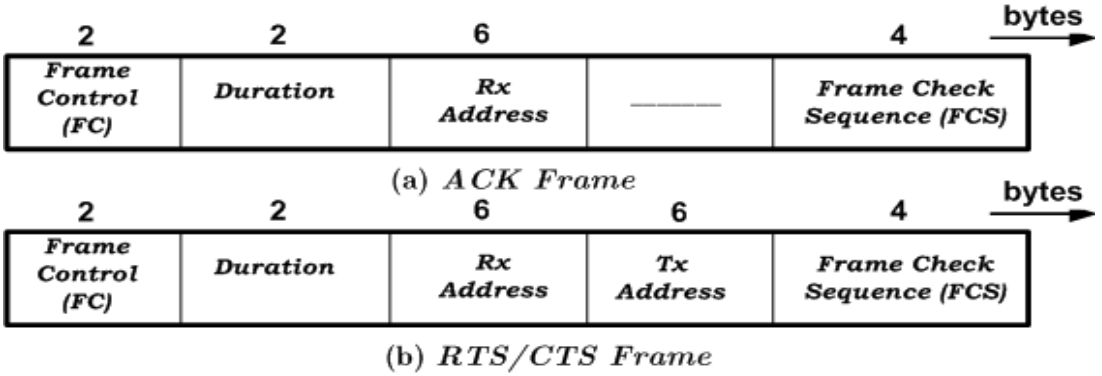
تغطي طبقة MAC وفق معيار IEEE 802.11 ثلاثة وظائف وهي التسليم الموثوق للمعطيات، والتحكم بالدخول والأمن. سنناقش في هذه الفقرة التسليم الموثوق والتحكم بالدخول إلى الوسط.

3-1 التسليم الموثوق للمعطيات:

يسبب الضجيج والتداخل وتأثيرات الانتشار المختلفة للإشارات اللاسلكية ضياعاً في عدد من إطارات المعلومات. وعلى الرغم من وجود ترميزات كشف وتصحيح الأخطاء، فإن عدداً من إطارات MAC قد لا يستقبل بشكل صحيح. يمكن التعامل مع هذه الحالة بواسطة آلية موثوقة في الطبقات الأعلى (مثل TCP). ولكن غالباً هذه الطبقة يكون عملها من مرتبة الثواني، لذلك من الأفضل التعامل مع هذه الحالة في مستوى MAC.

من أجل ذلك، آلية تبادل المعطيات وفق تقنية تبديل الرزم لمعيار IEEE 802.11 تتضمن بروتوكول

تبادل إطار إقرار Acknowledgment (ACK) إلى محطة المصدر، وهذا التبادل يجب ألا يقاطع من قبل إرسال أي محطة عمل أخرى. إذا لم يستقبل المصدر (المرسل) إقراراً ACK خلال فترة قصيرة من الوقت – بسبب أخطاء في إطار المعطيات أو أخطاء في ACK – فإن المصدر يعيد إرسال الإطار، والذي يتضمن عنوان المستقبل بالإضافة إلى معلومات التحكم كما هو موضح في الشكل (1).

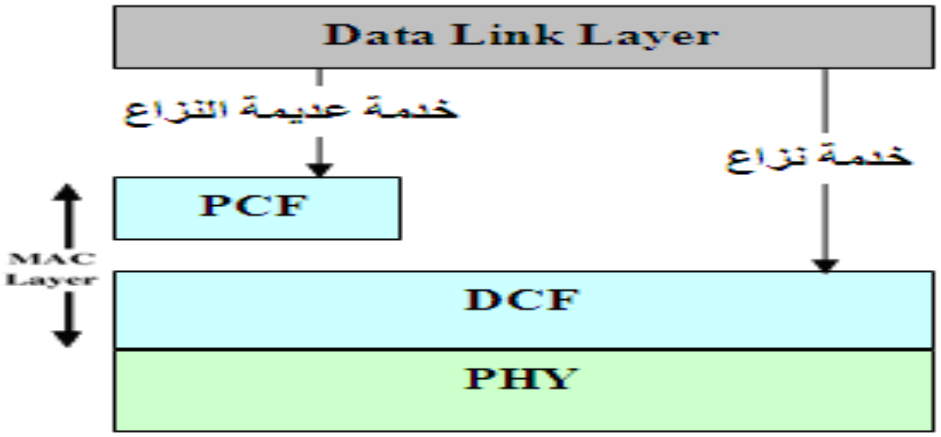


الشكل (1) صيغ إطارات التحكم وفق معيار IEEE 802.11. (a) صيغة إطار ACK، (b) صيغة إطار كل من RTS وCTS.

وبالتالي تتضمن آلية نقل المعطيات الأساسية وفق معيار IEEE 802.11 تبادل إطارين. ومن أجل زيادة الموثوقية، يمكن أن يستخدم تبادل أربع إطارات. وفق هذه الطريقة، يرسل المصدر أولاً إطار معلومات يعرف باسم طلب إرسال Request To Send (RTS) إلى الهدف، ويستجيب الهدف (المستقبل) بإشارة، والتي هي عبارة عن إطار معطيات يعرف باسم المسح أو الجاهزية للإرسال Clear To Send (CTS). يتضمن كل من إطار RTS وCTS عنوان المرسل والمستقبل بالإضافة إلى معلومات التحكم، كما هو موضح في الشكل (1). يبلغ إطار RTS كل المحطات الواقعة في مجال استقبال المصدر، بأن هناك تبادلاً للمعطيات خلال هذا الوقت. وبالتالي تحجم كل المحطات عن الإرسال تجنباً للتصادم بين إطارين مرسلين في نفس الوقت. وبشكل مشابه، فإن إطار CTS يُعلم كل المحطات الواقعة في مجال استقبال الهدف بأن هناك تبادلاً جاري في الوقت الراهن. إن عملية التبادل لمعلومات التحكم الموصوفة بـ RTS/CTS هي وظيفة مطلوبة من طبقة MAC، ولكن ليس بالضرورة أن تنجح بشكل دائم.

2-3 التحكم بالدخول :

حددت مجموعة العمل 802.11 نوعين من الاقتراحات لخوارزمية عمل طبقة MAC، كما هو الحال في شبكة الإيثرنت. تنفذ برتوكولات الدخول الموزع في طبقة MAC توزيع القرار بالإرسال بين كل العقد باستخدام آلية التحسس بالحامل وبروتوكولات الدخول المركزية والتي تتضمن تنظيم الإرسال بواسطة صانع قرار مركزي centralized decision maker، والذي يستخدم خوارزمية تحكم مركزية اختيارية. تؤمن هذه الخوارزمية آلية التحكم والدخول الموزعة.



الشكل (2) هيكلية بروتوكول طبقة MAC وفق معيار IEEE 802.11

يوضح الشكل (2) هيكلية الطبقة الفرعية السفلى من طبقة MAC والممثلة ببروتوكول وظيفة التنسيق الموزع Distributed Coordination Function (DCF). يستخدم DCF خوارزمية نزاع لتأمين دخول كافة تدفقات المعطيات. يستخدم التدفق المتزامن عادة DCF بشكل مباشر. من أجل تأمين خدمة خالية من النزاع، فإنه تم تطوير خوارزمية MAC مركزية تعرف باسم وظيفة تنسيق النقطة Point Coordination Function (PCF). تبنى هذه الوظيفة PCF على قمة DCF ويستفيد من ميزات DCF لضمان الولوج لمستخدميها.

3-3 وظيفة التنسيق الموزعة:

تستخدم طبقة DCF الفرعية، بروتوكول الدخول المتعدد بتحسس الحامل CSMA البسيط. وفق هذا البروتوكول، تنصت المحطة إلى الوسط إذا كان لديها إطار MAC جاهز للإرسال. وإذا كان الوسط خاملاً، فإنه يمكن للمحطة أن ترسل وإلا على المحطة الانتظار حتى ينتهي الإرسال الراهن قبل أن تتمكن من الإرسال. لا يتضمن DCF وظيفة كشف التصادم (كما هو موجود بالنسبة لشبكات الإيثرنت، حيث يتوفر بروتوكول CSMA مع إمكانية كشف التصادم Collision Detection؛ أي CSMA/CD). حيث أن كشف التصادم غير عملي في الشبكات اللاسلكية، وذلك لأن المجال الديناميكي للإشارات على الوسط كبير جداً ومن الصعب على المحطة المرسلة تمييز الإشارات الواردة من الضجيج. يستخدم معيار IEEE 802.11b بروتوكولاً معدلاً عن CSMA/CD هو بروتوكول CSMA/CA؛ أي يستخدم تجنّب التصادم Collision Avoidance (CA) بدلاً من كشف التصادم والذي يساعد إلى حد كبير في كشف العقد المخفية في شبكة لاسلكية محلية. يتمكّن بروتوكول CSMA/CA من تجنّب التصادم عبر أسلوبٍ مبسطٍ، يدعى RTS/CTS – انظر الفقرة 3-1 – حيث يرسل الطرف أو المحطة المرسلة طلبٍ للإرسال RTS، في حين يقوم المستقبل بتأكيد وصول هذا الطلب عبر إرسال رسالة الجاهزية للإرسال CTS عندما تكون قناة الاتصال جاهزةً للاستخدام.

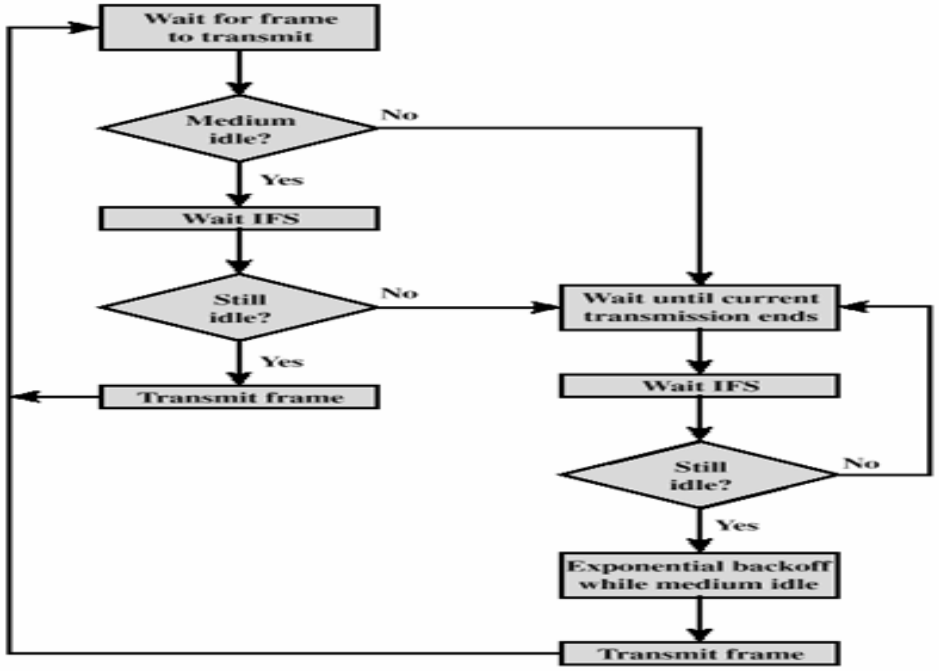
من أجل ضمان العمل الميسر لخوارزمية CSMA/CA، فإن DCF يتضمن مجموعة من التأخيرات تتعلق بالأفضلية. حيث تبدأ بتأخير مفرد يسمى الحيز ضمن الإطار Inter frame Space (IFS)، والذي يمتلك في الواقع ثلاثة قيم مختلفة، كما سنرى لاحقاً. وتكون قواعد الدخول وفق CSMA/CA الموضحة في الشكل (3) كما يلي:

تتحسس المحطة التي لديها إطار للإرسال الوسط، فإذا كان خاملا فإنها تنتظر لترى فيما إذا كان الوسط يبقى خاملاً لزمن يساوي IFS. إذا تحقق ذلك، فإن محطة العمل تبدأ الإرسال مباشرة.

إذا كان الوسط مشغولاً، فإن محطة العمل لا تبدأ (تؤخر) الإرسال وتستمر في مراقبة الوسط حتى ينتهي الارسال الحالي.

حالما ينتهي الإرسال الحالي، فإن المحطة تؤخر بمقدار IFS آخر. إذا بقي الوسط خاملاً خلال هذه الفترة، فإن المحطة تعود بعد زمن عشوائي وتتحسس الوسط وذلك من خلال خوارزمية الانتظار (التوقف) والعودة Back-off Algorithm ضمن فترة زمنية محددة. إذا كان الوسط ما يزال خاملاً، فإن المحطة يمكن أن ترسل. خلال زمن العودة، وإذا أصبح الوسط مشغولاً فإن مؤقت العودة يتوقف ولكنه يستأنف عمله عندما يصبح الوسط خاملاً.

لضمان عودة المحطة للعمل خلال فترة التوقف والانتظار، تستخدم حالة العمل الأسية الثنائية لخوارزمية الانتظار والعودة Binary Exponential back-off. تؤمن العودة الأسية الثنائية وسائل لمعالجة الأحمال الثقيلة. تؤدي المحاولات المتكررة الفاشلة للإرسال إلى إطالة أزمنة العودة back-off times أكثر فأكثر.



الشكل (3) مخطط عمل خوارزمية CSMA

تساعد هذه الآلية على تخفيض الحمل وبدون مثل هذه العودة، فإن الوضع التالي سيحدث: تحاول محطتان

أو أكثر الإرسال في نفس الوقت، ويسبب ذلك حدوث تصادم وبعد ذلك تحاول تلك المحطات الإرسال فتسبب تصادماً جديداً. تحسن الطريقة السابقة من أجل DCF لتأمين دخول يعتمد على الأفضلية وذلك باستخدام ثلاثة قيم لـ IFS هي:

قيمة صغيرة (أو قصيرة) Short IFS (SIFS) والتي تعتبر أقصر IFS ويستخدم من أجل كل حالات الاستجابات الفورية.

قيمة وظيفة تنسيق النقطة PIFS وهو IFS عند إصدار الانتخاب.

قيمة وظيفة التنسيق الموزع DIFS وهو أطول IFS ويستخدم كتأخير أصغري لمزامنة الإطارات التي تتزاحم على الدخول.

3-4 وظيفة تنسيق النقطة:

هي طريقة دخول بديلة وتنفذ على قمة DCF، وبما أن قيمة PIFS أصغر من قيمة DIFS، فإن منسق النقطة يستطيع الاستيلاء على الوسط ويمنع كل التدفق المتزامن عندما يكون في حالة إصدار اقتراعات وتلقي استجابات.

4 إطار MAC

يبين الشكل (4) صيغة إطار MAC في شبكة WLAN، والذي يحتوي على الحقول التالية:

تحكم الإطار Frame Control (FC): يبين نوع الإطار (تحكم أو إدارة أو معطيات) ويؤمن معلومات تحكم.

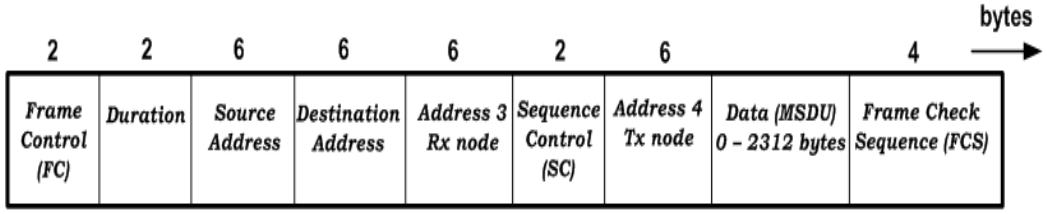
معرف الفترة الزمنية/الارتباط Duration/Connection ID: يستخدم كحقل استمرارية ويبين الزمن (بالميكروثانية) الذي يخصص للقناة من أجل النقل الناجح لإطار MAC.

العناوين Addresses: تتضمن عنوان المرسل وعنوان المستقبل وعنوان العقدة المرسلة Transmitter Address Node (عنوان نقطة النفاذ اللاسلكية الداخلة في عملية الاتصال) وعنوان العقدة المستقبلة Receiver Address Node، وكل منها بعرض 6 bytes.

تحكم التتابع Sequence Control (SC): يحتوي على حقل فرعي لرقم التجزئة ويستخدم من أجل التجزئة وإعادة التجميع ويستخدم لترقيم الإطارات المرسلة بين مرسل ومستقبل محددين.

جسم الإطار (المعطيات Data): يحتوي على كامل MSDU أو جزء منه وتمثل MSDU وحدة معطيات برتوكول LLC أو معلومات تحكم MAC.

تتابع اختبار الإطار Frame Check Sequence (FCS): يمثل قيمة اختبار الفائض الدوري لكشف احتمال حدوث أخطاء.



الشكل (4) صيغة إطار MAC

5 معدل النقل الأعظمي Throughput وفق معيار IEEE 802.11

يعرف معدل النقل الأعظمي بالمعدل البتي الأعظمي (مقدراً بـ Mbps) والذي وفقه يمكن للمستخدم أن يرسل

ويستقبل المعطيات بين أي محطة وأي طرفية أخرى. عرف معيار IEEE 802.11 سرعات نقل مختلفة للطبقة وفقاً لنظام الاتصال وتقنية التعديل المستخدمة. ولكن معدل النقل الفعلي للمعطيات ليس متوافقاً أو متطابقاً مع هذه القيم، وذلك لعدة أسباب منها:

كل حزمة Packet معطيات مرسلة تتضمن معطيات إضافية مثل العناوين (MAC, TCP, IP, etc) وقيمة البداية Preamble.

عند استقبال حزمة المعطيات، يرسل المستقبل إشارة أو حزمة معطيات إقرار ACK إلى المرسل.

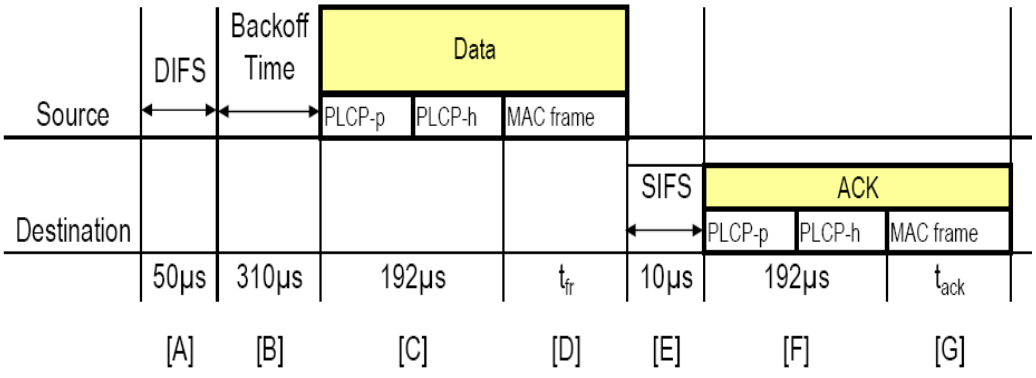
ينتظر المستقبل لفترة زمنية قصيرة عشوائية بين حزم المعطيات والتي تسمح للمستخدمين الآخرين بالتوصيل والمشاركة في القناة.

المسافة بين الطرفيات ونقطة النفاذ اللاسلكية AP.

يبين الشكل (5) المخطط الزمني لإرسال واستقبال إطار معطيات وفق معيار IEEE 802.11b .

نميز في المخطط الزمني المجالات (الفترات) الزمنية التالية:

المجال [A]: يعبر عن الفترة الزمنية لـ DIFS، والمثبتة عند قيمة $50\mu s$. وهو الوقت الذي تأخذه جميع المحطات للإنصات إلى الوسط قبل افتراض أن يكون متاحاً.



الشكل (5) المخطط الزمني لإرسال واستقبال إطار معطيات وفق معيار IEEE 802.11b

المجال [B]: يعبر عن الفترة الزمنية لزمن الانتظار والعودة وفق خوارزمية Back-off. وهي فترة زمنية عشوائية، يجب على محطة العمل أن تنتظر انقضائها قبل أن تُقبَل للدخول أو استخدام الوسط عند وجود قناة متاحة.

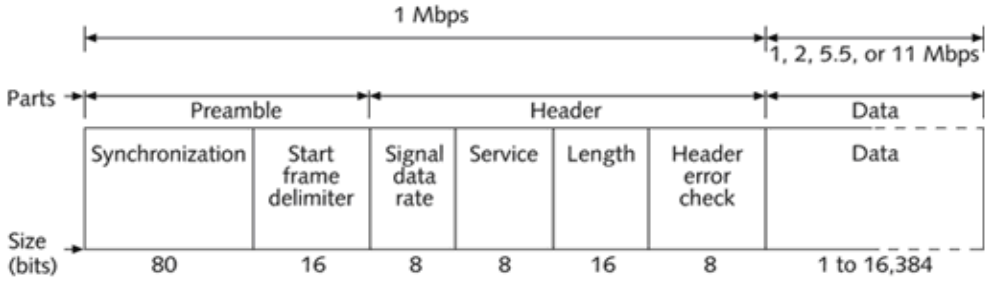
يمكن استخدام القيم أو الصيغ التجريبية التالية لحساب متوسط زمن الانتظار والعودة وفقاً لعدد المحاولات لإعادة الإرسال، ولحساب الحد الأقصى لمعدل النقل الأعظمي. يمكن التعبير عن زمن الانتظار والعودة وفق العلاقة التالية:

$$t_{backoff}(i) = \begin{cases} \dfrac{2^i \cdot (CW_{\min} + 1) - 1}{2} \cdot SLOT[\mu s]; 0 \le i < 6 \\ \dfrac{CW_{\max}}{2} \cdot SLOT[\mu s]; i \ge 6 \end{cases}$$

يمثل SLOT حيزاً زمنياً، وهو عبارة عن قيمة زمنية يتم اشتقاقها من الطبقة الفيزيائية بالاعتماد على ميزات الترددات الراديوية لمجموعة الخدمة الأساسية ومثبتة عند قيمة $20\mu s$ وفق المعيار IEEE 802.11b. يشير CW إلى نافذة النزاع (أو التنافس) Contention Window، وهي عبارة عن قيمة عدد صحيح يأخذ قيمه ضمن المجال.

بافتراض أن عدد محاولات الإرسال صفراً $(i = 0)$ وقيمة $CW = 31$، كأفضل قيمة وفق معيار IEEE 802.11b، فإن أصغر قيمة لزمن الانتظار والعودة هو $310\mu s$.

المجال [C]: يعبر عن الفترة الزمنية لإجراء تقارب الطبقة الفيزيائية PLCP، كما هو موضح في الشكل (6). وذلك لكل من جزء الترويسة Header وقيمة البداية Preamble (PLCP-h, PLCP-p). تحدد قيمة هذه الفترة وفق معيار IEEE 802.11b بـ $192\mu s$ ($144\mu s$ لـ PLCP-p و $48\mu s$ لـ PLCP-h) لضمان التوافق بين تجهيزات IEEE 802.11.



الشكل (6) إطار PLCP وفق معيار IEEE 802.11

المجال [D]: يمثل الفترة الزمنية لكامل إطار معطيات t_{fr} (معطيات MSDU بالإضافة لمعطيات التحكم، كما هو موضح في الشكل (4). تعتمد قيمة هذه الفترة على حجم MSDU ومسار الوصلة وعلى معدل نقل المعطيات.

المجال [E]: يمثل الفترة الزمنية لقيمة SIFS وهو عبارة عن قيمة ثابتة بمقدار $10\mu s$.

المجال [F]: يمثل الفترة الزمنية لحقل ACK، المكون من العناوين و14 بايت تحكم كما هو موضح في الشكل (1).

المجال [G]: يعبر عن الفترة الزمنية لإطار ACK، ويعطى بالعلاقة التالية:

$$t_{ack} = \frac{14 \times 8}{R_b(Mbps)} = 9.71\mu s | R_b = 11Mbps$$

بفرض لدينا محطة عمل طرفية تبعد $10m$ عن نقطة النفاذ اللاسلكية AP. ويراد حساب معدل النقل الأعظمي لهذه الوصلة وفق معيار IEEE 802.11b، بافتراض أن الوسط خالٍ من العوائق ومن محطات أخرى وعوامل الفقد في الوسط مهملة وقيم مثالية للنقل ($MSDU = 1500bytes$، $R_b = 11Mbps$، لا يوجد إطارات محاولات إعادة الإرسال، لا وجود لإطارات RTS/CTS). وفق هذه الشروط يمكن التعبير عن زمن إرسال إطار معطيات كامل بالعلاقة التالية:

$$t_{frame} = t_{DIFS} + t_{backoff} + t_{PLCP} + t_{fr} + t_{SIFS} + t_{PLCP} + t_{ack}$$

بما أنه لدينا نقطة نفاذ لاسلكية واحدة، فإن معطيات التحكم المنضدة مع وحدة MSDU هي $28bytes$، وبالتالي يمكن التعبير عن زمن فترة المعطيات بالإضافة لمعطيات التحكم بالعلاقة التالية:

$$t_{fr} = \frac{(MSDU(bytes) + 28) \times 8}{R_b(Mbps)} = 1059.79\mu s$$

يمكن حساب زمن وحدة المعطيات MSDU، وفق العلاقة التالية:

$$t_{MSDU} = \frac{(12000)bits}{R_b(Mbps)} = 1040.37\mu s; R_b \simeq 11.53Mbps$$

وبالتالي القيمة الزمنية لكامل الإطار:

$$t_{frame} = 50 + 310 + 192 + 1059.79 + 10 + 192 + 9.71$$

$$= 1823.5\mu s$$

وفق هذه المعطيات، فإن الكفاءة أو معدل الأداء يعطى بالعلاقة التالية:

$$Efficiency = \frac{t_{MSDU}}{t_{frame}} = \frac{1040.37}{1823.5} = 57\%$$

إذاً معدل النقل الأعظمي Maximum Throughput يقدر وفق العلاقة التالية:

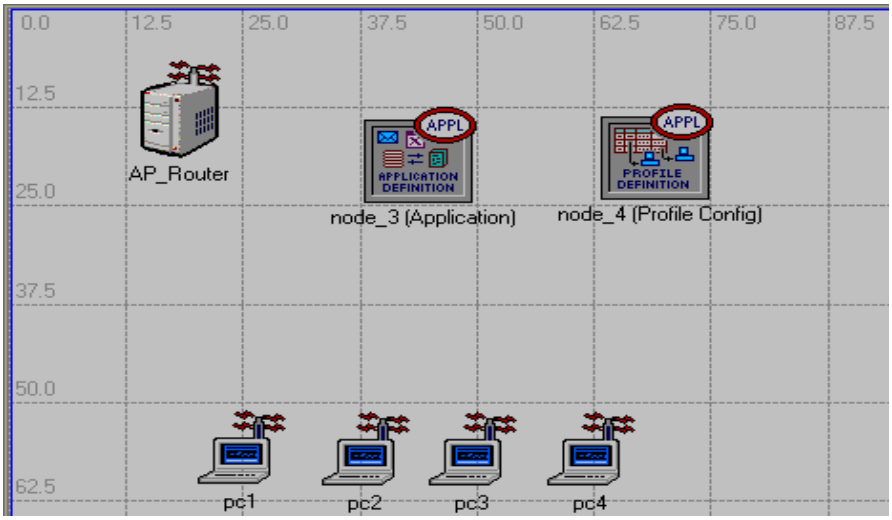
$$Max.Th\ rough\ put = R_b \times Efficiency \simeq 6.27Mbps$$

نلاحظ من المعادلات السابقة أن معدل النقل الأعظمي (الفعلي) للشبكة – وفق شروط مثالية – يصل إلى حوالي $6Mbps$ كحد أقصى، وذلك عند تفعيل الوصلة اللاسلكية بمعدل نقل اسمي $11Mbps$. وبطريقة مشابهة، يمكن حساب وتقييم معدل النقل الأعظمي (الفعلي) لبقية المعايير مع الأخذ بعين الاعتبار القيم المتغيرة للفترات الزمنية حسب مواصفات كل معيار [16].

6 محاكاة لشبكة WLAN وفق المعيار IEEE 802.11b

من أجل تنفيذ عملية المحاكاة لشبكة WLAN، يمكن استخدام برنامج OPNET IT Guru المعد خصيصاً لمحاكاة شبكات الحاسب والاتصالات. هذا البرنامج مجاني للاستخدامات الأكاديمية [14]، ويوجد نسخة تجارية منه. يتمتع البرنامج بإمكانات كبيرة في تحليل ودراسة الشبكات ويُمكّنُ الباحث من تقليد عمل شبكة حقيقية وإجراء جميع الاختبارات عليها.

يبين الشكل (7) تصميم شبكة WLAN باستخدام برنامج OPNET IT Guru. تمثل شبكة مكتبية أبعادها في حدود $50m$، بافتراض عدم وجود موانع. تضم الشبكة عقدتين ونقطة نفاذ لاسلكية مزودة بموجه AP with Router قادرة على العمل مع تطبيقات مختلفة تعمل وفق بروتوكول TCP/IP وبروتوكول UDP/IP. تم إعداد نقطة النفاذ اللاسلكية وفق معيار IEEE 802.11b وأربعة مستخدمين Clients. العقدة رقم 3، تمثل تشكيل تطبيق ما (مثل HTTP) والعقدة رقم 4، تمثل تشكيل معلومات المستخدم بخصوص حركة مرور الإشارات (لا تعمل هذه العقدة بدون وجود عقدة تطبيق ما).



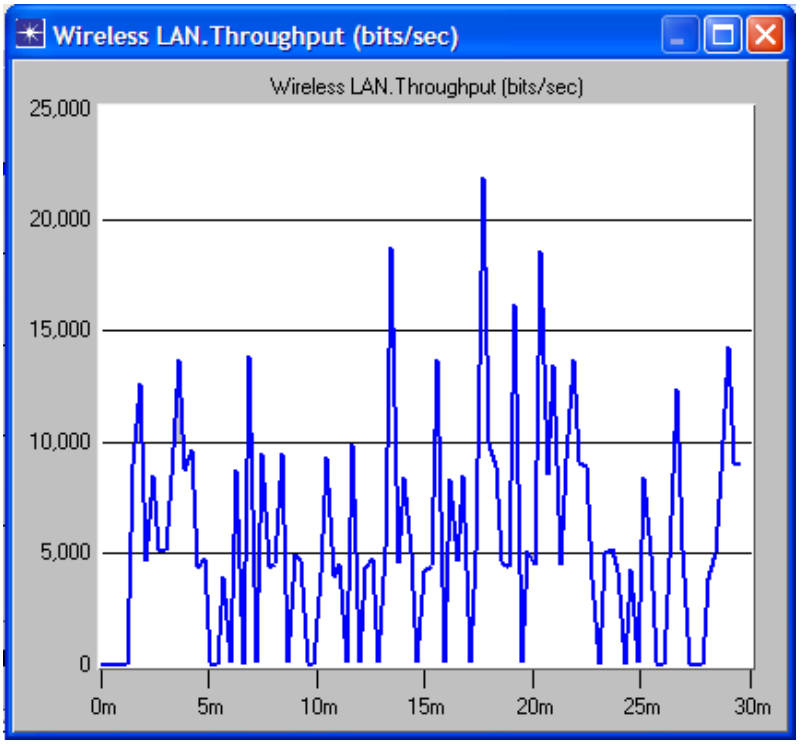
الشكل (7) تصميم محاكاة لشبكة WLAN وفق معيار IEEE 802.11b باستخدام برنامج IT Guru

بافتراض أن الفترة الزمنية لدراسة الشبكة هي نصف ساعة ($30minutes$)، سنميز حالات الاختبار

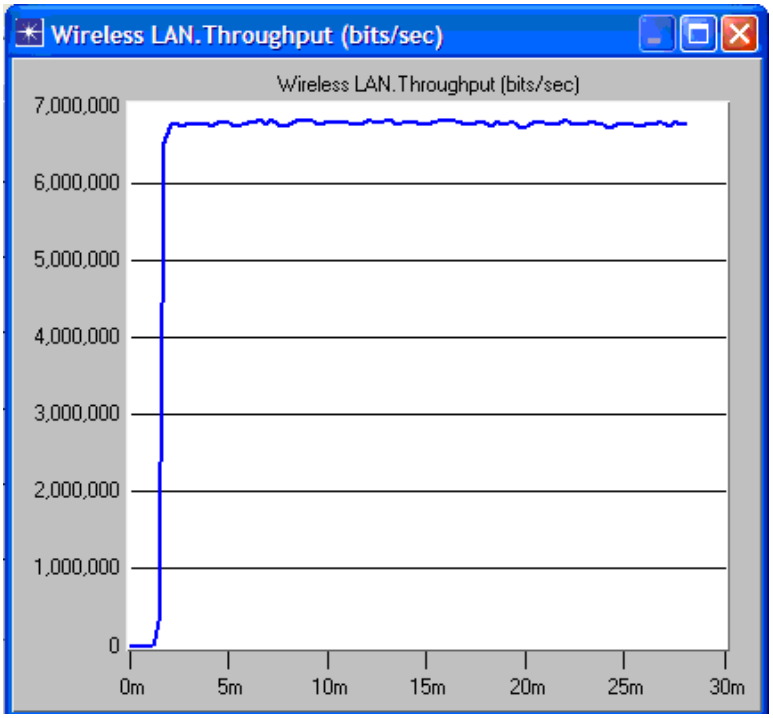
التالية:

استخدام شبكة المحاكاة اللاسلكية في تصفح شبكة الانترنيت وفتح مواقع ذات كمية معطيات كبيرة نسبياً (تحتوي على صور وملفات فديو).

عند الانتهاء من تنفيذ عملية المحاكاة على كامل الفترة الزمنية المفترضة، بقي معدل نقل المعطيات عند حدود مقبولة وبقيمة متوسطة تتراوح بين $(5-10)Kbps$ ، كما هو مبين في الشكل (8). وبالتالي يمكن إضافة أجهزة أخرى إلى شبكة WLAN، طالما أن معدل نقل المعطيات لا يزال ضمن حدود مقبولة. بالنتيجة يمكن اعتبار هذه الشبكة جيدة لأن مواقع الانترنيت لا تستهلك كمية كبيرة من سرعة نقل الشبكة. وهذا يعود إلى أنه في الغالب يكون معدل نقل المعطيات في شبكة الانترنيت المستخدمة حالياً أقل بكثير من معدل نقل المعطيات في الشبكات اللاسلكية المحلية. على سبيل المثال، أغلب سرعات النقل المستخدمة في الانترنيت لا تتجاوز $2Mbps$.



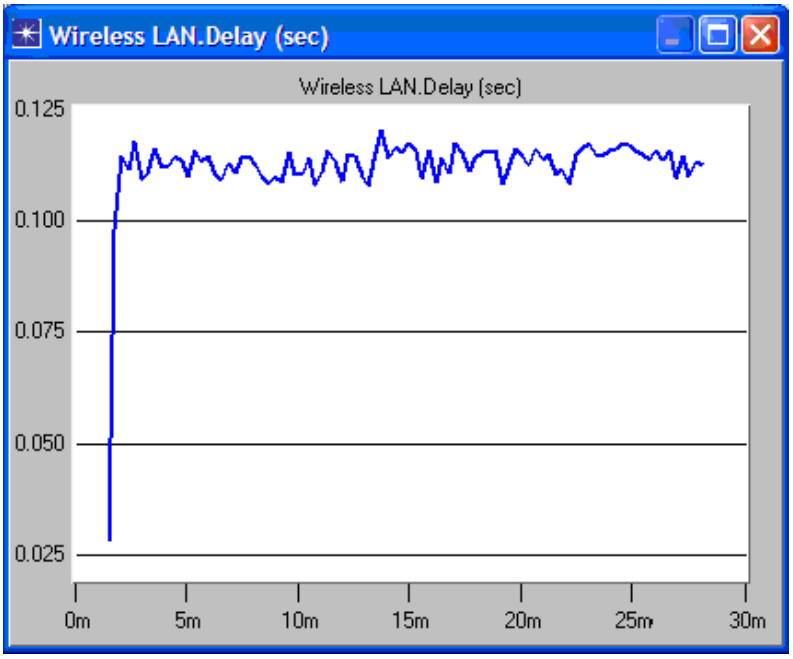
الشكل (8) معدل نقل المعطيات الأعظمي (bits/sec) لشبكة المحاكاة عند استخدامها في تصفح مواقع انترنت لتقييم معدل نقل المعطيات الأعظمي (الفعلي) لشبكة WLAN المبينة في الشكل (7)، وبمعنى آخر للوصول إلى الحد الأقصى لنقل المعطيات لهذه الشبكة، فإنه يوجد احتمالين: (1) زيادة عدد الأجهزة (المستخدمين Clients) (2) استخدام شبكة WLAN لنقل معطيات ذات حجم كبير – على سبيل المثال، نقل صوت (VoIP) أو فيديو من كاميرا مراقبة بجودة عالية.



الشكل (9) معدل النقل الأعظمي لشبكة المحاكاة عند استخدامها لنقل الفيديو

باعتماد الاحتمال الثاني، وتقييم معدل نقل المعطيات الأعظمي على كامل الفترة المدروسة، فإن النتيجة الموضحة في الشكل (9) تبين أن معدل نقل المعطيات الفعلي لم يتجاوز قيمة $6.5Mbps$، علماً أن معدل النقل المثالي للشبكة المدروسة هو $11Mbps$. لأن هذه الشبكة تحتاج إلى معدل نقل معطيات فعلي أكبر

عند استخدامها لنقل إشارات فديو ذات دقة عالية، وهذا بدوره يسبب تأخير زمني في تبادل المعطيات، كما هو موضح في الشكل (10).



الشكل (10) التأخير الزمني لنقل إشارات الفيديو في شبكة المحاكاة وفق برنامج IT Guru

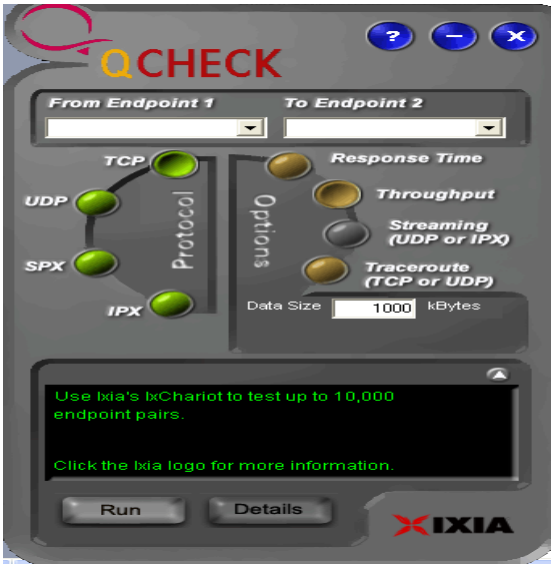
ولتحسين الشبكة السابقة عند استخدامها الفعلي، فيتوجب إنقاص الطرفيات (المستخدمين) أو استخدام معايير ذات سرعة نقل أكبر وفقاً للنتائج التي تم الحصول عليها من تقليد شبكة WLAN باستخدام برنامج OPNET IT Guru (هناك عوامل أخرى سوف توثر على عملية النقل مثل التداخل والضوضاء.. الخ، يجب عند دراسة الشبكات اللاسلكية أخذها بالاعتبار).

7 قياس معدل النقل الأعظمي لشبكة WLAN حقيقية

تساعد عملية القياسات للشبكات اللاسلكية المحلية باستخدام برمجيات مناسبة في تنفيذ تصميم شبكة WLAN عملية بشكل ميسر. يوجد عدة برامج متوفرة مجاناً، يمكن الاستفادة منها في دراسة وتصميم الشبكة

الحقيقية وتقييم معدل نقل المعطيات الأعظمي. يعتبر برنامج QCHECK وبرنامج IxChariot المتوفران على موقع الشركةwww.xixiacom.com .

برنامج QCHECK هو أداة بسيطة يتم تركيبها على المخدم أو على الطرفيات. وعند استخدامه في تقييم Throughput، يجب توفر نقطتين. النقطة الأولى هي الحاسوب الذي يعمل عليه البرنامج والنقطة الأخرى عبارة عن أداة مساعدة Endpoint، يمكن الحصول عليها من موقع الشركة. يبين الشكل (11) واجهة التطبيق لهذا البرنامج، والذي يعطي قيم لحظية متغيرة لمعدل نقل المعطيات الأعظمي.



الشكل (11) واجهة برنامج QCHECK

برنامج IxChariot عبارة عن برنامج مماثل للبرنامج السابق، ولكنه يتميز بإمكانية تسجيل القراءات (معدل نقل المعطيات الأعظمي) لفترة زمنية محددة مسبقاً، بالإضافة إلى إظهار النتائج النهائية بشكل منحني بياني. يبين الشكل (12) واجهة التطبيق لبرنامج IxChariot.

الشكل (12) واجهة برنامج IxChariot

تتكون شبكة WLAN الحقيقية المراد دراستها من التجهيزات الشبكية التالية:

نقطة نفاذ لاسلكية AP من نوع (D-Link (DWL-2100 Model.

جهاز حاسوب محمول أو حاسوب مكتبي (عدد 2)، كل منهما مزود ببطاقة لاسلكية (داخلية أو خارجية عبر منفذ USB) متوافقة مع معيار IEEE 802.11.

جهاز حاسوب إضافي مجهز للعمل كمخدم Server.

يبين الشكل (13) مخطط التوصيل والربط لشبكة WLAN الخاضعة للدراسة من أجل تقييم وحساب معدلات نقل المعطيات، حيث أن الربط بين المخدم ونقطة النفاذ اللاسلكية تم تنفيذه سلكياً عبر منفذ إيثرنت. أي أن الشبكة المدروسة تمثل مجموعة خدمة كاملة BSS مربوطة مع نظام توزيع.

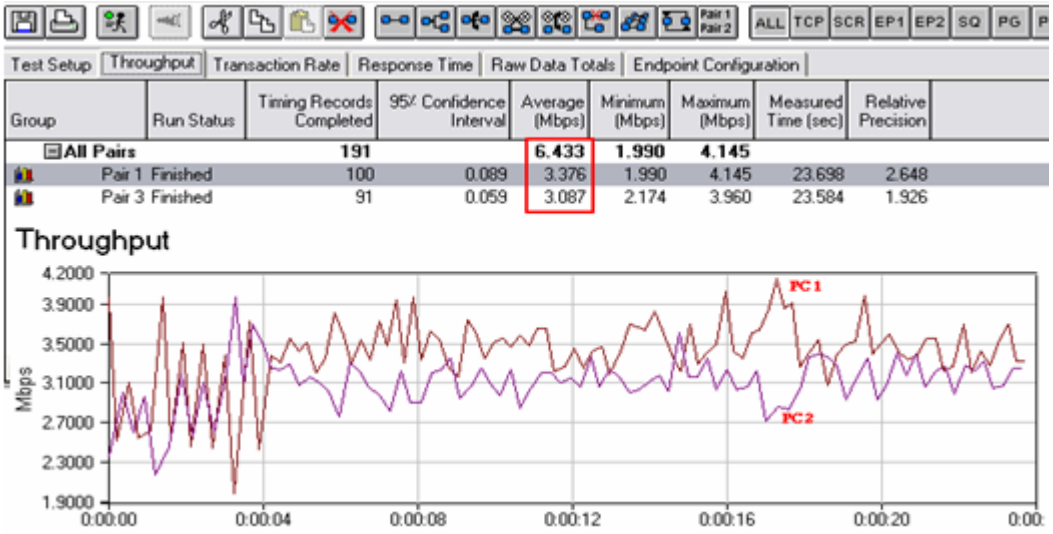
الشكل (13) مخطط شبكة WLAN ذات نظام التوزيع العملية المخبرية

بعد تنفيذ عملية التهيئة والإعداد لكافة التجهيزات الشبكية ضمن الشبكة المدروسة (تحديد عناوين IP ضمن النطاق $192.168.0.xxx$ ومعيار العمل IEEE 802.11b بسرعة نقل معطيات مثلى($11Mbps$). تم إعداد وتنصيب برنامجي الاختبار لحساب معدل نقل المعطيات الأعظمي لكافة الوصلات اللاسلكية والسلكية على حد سواء، على المخدم وبرنامج نقطة النهاية على الطرفيات PC1 و PC2. يبين الجدول (2) متوسط معدل نقل المعطيات عند تبادل معطيات بمثابة رزمة كاملة Packet بحجم 1000 bytes وعند تشغيل كل من بروتوكولي TCP و UDP. تشير هذه النتائج إلى أن معدل النقل الأعظمي بحدود 6 Mbps عند استخدام مسار واحد (مخدم إلى مستخدم عبر نقطة النفاذ اللاسلكية) والت تنخفض إلى النصف تقريباً (3 Mbps) عند استخدام مسارين (من PC1 إلى PC2).

الجدول (2) نتائج قياس Throughput باستخدام برنامج QCHECK

From	To	Throughput/TCP(Mbps)	Throughput/UDP(Mbps)
Server	PC1	6.4	6.3
server	PC2	6.23	6.1
PC1	PC2	3.49	3.4

يبين الشكل (14) نفس النتائج السابقة (الواردة في الجدول (2)) بشكل مخطط بياني، حيث أن معدل نقل المعطيات الفعلي هو مجموع معدلات النقل لكافة الطرفيات.



الشكل (14) معدل نقل المعطيات الأعظمي Throughput باستخدام برنامج IxChariot

نتبين من خلال هذا التنفيذ لشبكة WLAN أن معدلات نقل المعطيات الأعظمية تتطابق إلى حد كبير مع القيم التحليلية والنظرية. يمكن أن يسبب تداخل الأمواج تغيراً ملحوظاً في معدل نقل المعطيات لكل طرفية وذلك بسبب اختلاف أماكن التموضع للطرفيات. إذاً من البارامترات الهامة والتي يجب على مصمم شبكات WLAN أخذها بالاعتبار هو معدل نقل المعطيات الفعلي لكافة الطرفيات في الشبكة..

المراجع:

[1] IEEE P802.11 Wireless LANs: 802.11 HEW SG proposed PAR," IEEE 802.11-14/0165r1, March 2014. (https://mentor.ieee.org/802. 11/dcn/14/11-10165-01-0hew-802-11-hew-sg-proposed-par.docx).

[2] Stallings, W. IEEE 802.11: moving closer to practical wireless LANs. IT Professional. Volume: 3 Issue: 3. Page(s):17 – 23. June, 2001.

[3] IEEE Std. 802.11b Supplement to ANSI/IEEE. *Part11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY)* Specifications: Higher Speed Physical Layer (PHY) Extension in the 2.4GHz *band.* IEEE, Inc. ISBN0-7381-1811-7, 1999.

[4] Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: Enhancements for high efficiency WLAN," IEEE P802.11ax, Draft1.0, Nov. 2016.

[5] Flickenger Rob Wireless Networking in the Developing World 3th Edition-2013

[6] M. Karaca, S. Bastani, B.E. Priyanto, M. Safavi, and B. Landfeldt, "Resource management for OFDMA based next generation 802.11 WALNs," Proc. Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC), July 2016

[7] Stallings William Data And Computer Communications 10th Edition-2014

[8] NetworkWorld, Timeline: 802.11n development milestones" September,11th 2009.

[9] Srinivasan Vasudevan, A Simulator for analyzing the throughput of IEEE 802.11b Wireless LAN Systems-2005

[10] Vijay K,Garg Wireless Communications & Networking-2007

[11] Ming-Chieh Wu, A Comparison of Wi-Fi & WIMAX with case studies-2007.