تحسين جودة نقل الفيديو في الشبكات اللاسلكية النقالة

د.احمد العلي*

الملخص

يهدف هذا البحث إلى تقييم وتحسين جودة خدمة نقل تدفّق الفيديو عبر الشبكات اللاسلكية النقالة، وذلك من خلال دراسة أداء بروتوكولات ومعايير مختلفة من عائلة802.11 IEEE ، ومقارنة نتائجها في بيئات متنوّعة تشمل الاتصالات السلكية واللاسلكية.
تم تنفيذ مجموعة من التجارب العملية باستخدام نماذج محاكاة واقعية لقياس مؤشرات الأداء الأساسية مثل معدل الإنتاجية (Throughput) ، وزمن التأخير (Delay) ، ونسبة فقدان الرزم (Packet Loss) أثناء نقل تدفّقات فيديو بصيغة MPEG-4.

شملت التجارب مقارنة بين البروتوكولين TCPو UDP، وبين آليات النفاذ إلى الوسط في المعيارين (DCF) 802.11 و (EDCA) 802.11e، إضافةً إلى دراسة أثر آليات الإسناد الثابت والديناميكي على جودة الخدمة في بيئات ذات مستويات حركة وازدحام مختلفة. كما تم تحليل تأثير كل من حجم الرزم، وعدد تدفقات الفيديو، وسرعة العقد المتنقلة على أداء الشبكة.

أظهرت النتائج أن معيار IEEE 802.11e المزود بآلية الإسناد الديناميكي يحقق أفضل أداء من حيث الإنتاجية وتقليل التأخير وفقدان الرزم، مقارنةً بالأنماط الأخرى. كما تبين أن استخدام بروتوكول UDP أكثر ملاءمة لنقل الفيديو نظرًا لمرونته في التعامل مع الفقد المؤقت.

تؤكد النتائج أن تحسين آليات الجدولة والإسناد في الطبقة الوسيطة يسهم بفعالية في تحسين جودة نقل الفيديو في الشبكات اللاسلكية النقالة، ويمهد لتطوير أنظمة بث مرئي أكثر كفاءة في بيئات الاتصالات المتنقلة.

د.احمد العلي: عضو هيئة تدريسية في جامعة حمص- كلية الهندسة المعلوماتية

الكلمات المفتاح: شبكات حاسوبية، الشبكات اللاسلكية النقالة، محاكاة الشبكات، محاكي الشبكة NS2، نقل الفيديو.

Enhancing video Transmission Quality in Mobile Wireless Networks

Dr.Ahmad Alali*

Abstract

This research aims to evaluate and enhance the Quality of Service (QoS) for video streaming transmission over mobile wireless networks by studying the performance of different protocols and standards from the IEEE 802.11 family, and by comparing their results in various wired and wireless environments.
A series of practical experiments were conducted using realistic simulation models to measure key performance indicators such as throughput, delay, and packet loss during the transmission of MPEG-4 video streams.

The experiments included comparisons between the TCP and UDP transport protocols, as well as between medium access mechanisms in IEEE 802.11 (DCF) and IEEE 802.11e (EDCA). In addition, the impact of static and dynamic assignment mechanisms on service quality was analyzed under different mobility and congestion levels. The study also examined the effects of packet size, the number of video streams, and node mobility speed on overall network performance.

The results demonstrated that the IEEE 802.11e standard with the dynamic assignment mechanism achieved the best performance in terms of higher throughput, lower delay, and reduced packet loss compared to other configurations. Furthermore, the use of the UDP protocol proved to be more suitable for video transmission due to its flexibility in handling temporary packet loss.

Overall, the findings confirm that improving scheduling and assignment mechanisms at the medium access layer can significantly enhance video transmission quality in mobile wireless networks and pave the way for more efficient video streaming systems in mobile communication environments.

Dr.Ahmad Alali: Lecturer at homs university -informatics engineering faculty

Keywords: computer networks, mobile AdHoc networks, Networks simulation, network simulator NS2, video transmission.

1. مقدمة:

شهدت الشبكات اللاسلكية في السنوات الأخيرة انتشارًا واسعًا، وأصبحت محور اهتمام الباحثين والمطورين نظرًا لما توفره من مرونة عالية وسهولة في النشر والاستخدام مقارنة بالشبكات السلكية التقليدية. ومع هذا الانتشار، تزايد الاعتماد على تطبيقات الوسائط المتعددة مثل البث المرئي والمكالمات الصوتية عبر الإنترنت، وهي تطبيقات تتطلب مستوى مرتفعًا من جودة الخدمة (QoS)لضمان أداء مستقر وفعّال في نقل بيانات الزمن الحقيقي.

تعتمد الشبكات اللاسلكية المحلية على المعيار IEEE 802.11، الذي يستخدم خوارزمية التنسيق الموزع (DCF) والمبنية على آلية التحسس المتعدد للوسط مع تجنّب التصادم (CSMA/CA) لضبط عملية الوصول إلى وسط الإرسال. وتتيح هذه الآلية وصولًا عادلًا لجميع المحطات المشاركة في الشبكة، إلا أن من أبرز محدودياتها عدم قدرتها على التمييز بين أنواع تدفقات البيانات المختلفة، حيث تُعامل جميع الحزم بنفس مستوى الأولوية دون مراعاة لطبيعة التطبيق أو متطلباته الزمنية.

ونظرًا لأن تطبيقات الزمن الحقيقي مثل الصوت والفيديو تتطلب زمن تأخير منخفضًا وأداءً مضمونًا مقارنة ببقية أنواع البيانات، برزت الحاجة إلى تطوير المعيار الأصلي. لذلك تم تقديم

المعيار IEEE 802.11e، الذي يعتمد آلية الوصول المحسّنة إلى القناة الموزعة.(EDCA) (1)

تقوم هذه الآلية على تصنيف البيانات إلى أربع فئات خدمية:

- البيانات الصوتية(Voice) ،
- البيانات المرئية(Video) ،
- خدمات أفضل ما يمكن(Best Effort) ،
- بيانات الخلفية(Background) ،

وذلك بهدف تخصيص أولويات مختلفة لكل نوع من أنواع البيانات، بما يضمن تحسين جودة الخدمة وتحقيق أداء أكثر كفاءة في بيئات الاتصالات اللاسلكية الحديثة.

2. الهدف من البحث:

على الرغم من الانتشار الواسع للشبكات اللاسلكية المعتمدة على المعيار IEEE 802.11، إلا أن هذا المعيار يعاني من قصور في دعم جودة الخدمة (QoS) نظرًا لعدم قدرته على التمييز بين أنواع تدفقات البيانات المختلفة. لذلك تم تطوير المعيار IEEE 802.11e بهدف تحسين جودة الخدمة، خاصة في تطبيقات نقل الفيديو عبر الشبكات اللاسلكية النقالة.

يهدف هذا البحث إلى تقييم أداء جودة الخدمة لكل من المعيارين IEEE 802.11 و IEEE 802.11e من خلال مجموعة من السيناريوهات العملية المتنوعة، ودراسة تأثير كل من خوارزمية الإسناد الثابت، وخوارزمية الإسناد الديناميكي، والخوارزمية الافتراضية المطبقة في المعيار IEEE 802.11eعلى تحسين جودة نقل الفيديو.

3. الدراسات المرجعية:

تناولت الأبحاث الحديثة تحديات تحسين جودة خدمة نقل الفيديو في شبكات الـ WLAN وطرحت حلولًا تعتمد غالبًا على تصميمات عبر الطبقات (cross-layer) وتقنيات تخصيص

ديناميكي للموارد. على سبيل المثال، اقترح الباحثون بنى عابرة للطبقات لتحسين توصيل الفيديو في بيئات تعتمد 802.11e بما في ذلك تطبيقات UAV والبث المتحرك، وأظهرت هذه الدراسات فعالية خوارزميات المطابقة بين أولوية الحزم وخصائص الترميز في تقليل الفقد وتحسين الجودة المرئية (2)

في السنوات الأخيرة نمت الأبحاث التي تتناول جودة نقل فيديوهات الزمن الحقيقي عبر شبكات WLAN مع تركيز قوي على تحسين آليات الوصول إلى الوسط (MAC) وتصاميم عبر–الطبقات (cross–layer) لتقليل التأخير وفقدان الحزم. أظهرت دراسة تجريبية حول تأثير تفريق الخدمة في معيار IEEE 802.11e (EDCA) أن ضبط معلمات EDCA يؤثر مباشرة على مؤشرات QoS لتدفقات الفيديو؛ حيث يمكن أن يقدم EDCA تحسينات ملحوظة في زمن الوصول والإنتاجية عندما تُعدّل معلمات الفئات وصولًا لاحتياجات الفيديو، لكنه يواجه صعوبات عند ازدياد التنوع والحِمل الشبكي. (3)

على مستوى طبقة النقل، أظهرت دراسات تطبيقية أن الاعتماد على UDP مع آليات استرداد زمنية مثل FEC أو إعادة الإرسال المحدودة (مفيد جداً لتطبيقات الفيديو الحساسة للتأخير) لأن TCP يضيف تأخيرًا متغيرًا خلال اختلاف ظروف الشبكة؛ ومع ذلك تُشير الأعمال أيضاً إلى أنه يلزم دمج آليات تصحيح أخطاء وخيارات ذات–طبقة لاحتواء أثر الفقد على جودة الفيديو. (4).

أخيراً اقترح بحث حول تقنيات الحوسبة على الحافة (edge) ومشاركة الموارد الانتقائية حلولاً عملية لبث فيديو جماهيري ضخم مُكيَّفة للشبكات المتنقلة، حيث تقلّل عمليات التجزئة والنسخ الانتقائي عند الحافة من الضغط على شبكة الوصول وتحسّن جودة المشاهدة في النقاط ذات الازدحام العالي. تكمّل هذه النتائج الاستنتاج القائل بأن تحسين آليات الجدولة والإسناد عند طبقة MAC ، بالإضافة إلى حلول عبر–الطبقات وعلى مستوى الحافة، يرفع من جودة نقل الفيديو في البيئات اللاسلكية النقالة. (5)

أخيراً، برزت أعمال حديثة تطوّر نماذج ديناميكية ومتكاملة تجمع بين ترميز الفيديو الهرمي (SVC/HEVC)وخوارزميات تخصيص عبر الطبقات لتوفير حماية غير متكافئة (unequal protection) للحزم الأكثر أهمية، مما حسّن جودة المشاهدة (QoE) في تجارب محاكاة وبيئات اختبارات حقيقية، خاصة عند استخدام تخصيص ديناميكي للرتب (ACs)في المعيار 802.11e .هذه النتائج تدعم الفرضية القائلة بضرورة تطوير خوارزميات إسناد تراعي أهمية الأطر (I,P,B) وحمل الشبكة للحصول على تحسينات ملموسة في نقل الفيديو. (6)

4. خوارزمية التنسيق الموزع Distributed Coordination Function (DCF) (1)

تُعد خوارزمية التنسيق الموزع (Distributed Coordination Function – DCF) الآلية الأساسية للوصول إلى القناة في معيار IEEE 802.11 ، وتعتمد على أسلوب النفاذ المتعدد مع تجنب التصادم .(CSMA/CA) تعمل DCF على تمكين المحطات في الشبكة اللاسلكية من مشاركة القناة بطريقة عادلة ومنظمة، من خلال السماح لكل محطة بالتحقق من خلو القناة قبل البدء بالإرسال.

عندما تكون القناة مشغولة، تنتظر المحطة فترة زمنية عشوائية تُعرف بفترة الانتظار العشوائي (Backoff Period)، قبل أن تحاول مجددًا الوصول إلى القناة، مما يقلل احتمال حدوث تصادم بين الإشارات المرسلة من محطات متعددة في الوقت نفسه.

كما تستخدم DCF آلية الإقرار (ACK) لضمان وصول الإطارات بنجاح، وآلية طلب الإرسال (RTS/CTS)لتقليل التصادمات الناتجة عن مشكلة المحطات المخفية. وبذلك، فإن أداء خوارزمية DCF يعتمد بشكل كبير على عدد المحطات النشطة، وحجم الإطارات، وفترات الانتظار المحددة، ما يؤثر بدوره على إنتاجية الشبكة (Throughput) وزمن التأخير (Delay).

ورغم أن DCF توفر أداءً مقبولًا في البيئات ذات الحمل المنخفض والمتوسط، إلا أنها قد تواجه انخفاضًا ملحوظًا في الكفاءة عند ازدياد عدد المستخدمين أو في التطبيقات الحساسة للزمن مثل بث الفيديو أو الصوت في الزمن الحقيقي. لذا، ظهرت العديد من الأبحاث اللاحقة لتطوير وتحسين آلية DCF من خلال تقنيات الجدولة الديناميكية أو تحسين زمن الانتظار التكيفي (Adaptive Backoff) لزيادة جودة الخدمة (QoS) في الشبكات اللاسلكية الحديثة.

5. جودة الخدمة في الشبكات اللاسلكية النقالة (Quality of Service in Mobile Wireless Networks) (6)

تُعد جودة الخدمة (QoS) من المفاهيم الجوهرية في تصميم الشبكات الحديثة، إذ تهدف إلى ضمان أداء مستقر وقابل للتنبؤ به للتطبيقات المختلفة، خصوصًا تلك الحساسة للزمن مثل نقل الصوت والفيديو. ويُقصد بجودة الخدمة مجموعة من الآليات والمعايير التي تُستخدم لإدارة الموارد الشبكية (مثل عرض الحزمة وزمن التأخير) بهدف تلبية احتياجات التطبيقات ذات الأولويات المختلفة.

في الشبكات اللاسلكية النقالة، تزداد أهمية جودة الخدمة بسبب الطبيعة المتغيرة لقناة الاتصال الناتجة عن الحركة، والتداخل، وتقلب الإشارة، ما يجعل توفير QoS مستقرة تحديًا تقنيًا معقدًا. وتُقاس جودة الخدمة عادةً من خلال مجموعة من المؤشرات الأساسية، من أبرزها ما يلي:

عرض الحزمة(Bandwidth):

يُعد عرض الحزمة من أهم معايير جودة الخدمة، ويمثل الحد الأقصى لمعدل نقل البيانات الذي يمكن أن تدعمه الشبكة خلال فترة زمنية معينة. يؤثر عرض الحزمة بشكل مباشر على قدرة الشبكة في دعم تطبيقات الوسائط المتعددة ذات التدفق المستمر. فالتطبيقات الحساسة لعرض الحزمة مثل الاتصال الصوتي عبر الإنترنت(VoIP) ، ومؤتمرات الفيديو(Video Conference) ، والهاتف عبر الإنترنت (Internet Telephony) تتطلب

معدل نقل ثابت ومستقر لضمان جودة الصوت والصورة. أي تقلب في عرض الحزمة يؤدي إلى تقطّع في الفيديو أو فقدان للحزم مما ينعكس سلبًا على تجربة المستخدم.

الإنتاجية(Throughput):

تعبر الإنتاجية عن معدل البيانات الفعلي الذي يتم نقله بنجاح عبر الشبكة خلال فترة زمنية محددة، وهي مؤشر عملي على كفاءة استخدام الموارد.
ورغم أن الإنتاجية تتأثر بعدة عوامل مثل ازدحام القناة، ونسبة التصادمات، وكفاءة البروتوكولات المستخدمة في الطبقات الدنيا، إلا أنها تبقى أحد أهم مقاييس الأداء التي تُستخدم في تقييم فعالية تقنيات تحسين جودة الخدمة.
وتعد التطبيقات التفاعلية مثل VoIP ومكالمات الفيديو المباشرة أكثر حساسية لانخفاض الإنتاجية، إذ يؤثر ذلك مباشرة في جودة الإرسال والاستقبال ويؤدي إلى تدهور واضح في الأداء.

التأخير (Delay):

يُقصد بالتأخير متوسط الزمن المستغرق لانتقال حزمة البيانات من المرسل إلى المستقبل، ويشمل عدة أنواع:

- تأخير الإرسال (Transmission Delay): الزمن اللازم لإرسال الحزمة من الجهاز إلى القناة.
- تأخير الانتشار (Propagation Delay): الزمن المستغرق لانتقال الإشارة عبر الوسط الفيزيائي.
- تأخير الانتظار (Queuing Delay): الوقت الذي تمضيه الحزمة في طوابير الانتظار في العقد الوسيطة.

- تأخير المعالجة (Processing Delay): الزمن اللازم لمعالجة رأس الحزمة قبل تمريرها.

تطبيقات الزمن الحقيقي (Real-Time Applications) مثل مكالمات الفيديو والمؤتمرات عبر الإنترنت حساسة جدًا للتأخير، إذ يؤدي تجاوز التأخير الكلي لقيمة حرجة (عادةً أكثر من 150 ميلي ثانية فيVoIP) إلى تقطيع أو فقدان التزامن بين الصوت والصورة .لذلك تُعتبر إدارة التأخير وتقليله إلى أدنى حد أحد أهم أهداف آليات جودة الخدمة في الطبقات العليا والمتوسطة من البروتوكولات.

فقدان الرزم (Packet Loss):

يشير فقدان الرزم إلى النسبة المئوية للحزم المرسلة عبر الشبكة التي لا تصل إلى المستقبل بنجاح. يُعد هذا المؤشر من أهم معايير جودة الخدمة، خصوصًا في الشبكات اللاسلكية النقالة، نظرًا لتأثرها بعوامل متعددة مثل التداخل، ضعف الإشارة، الحركة السريعة للعقد، والازدحام على القناة.

يؤثر فقدان الرزم بشكل مباشر على جودة التطبيقات الحساسة للزمن الحقيقي مثل مكالمات VoIP، مؤتمرات الفيديو، والألعاب التفاعلية عبر الإنترنت، إذ يؤدي فقدان الحزم إلى تقطيع الصوت والفيديو، تأخير غير متوقع، وفقدان التزامن بين البيانات.

تعمل بروتوكولات النقل مثل TCPو UDP بشكل مختلف في التعامل مع فقدان الرزم:

- في بروتوكولTCP ، يؤدي فقدان الحزم إلى إعادة الإرسال، مما قد يزيد من التأخير الكلي ويؤثر سلبًا على تطبيقات الزمن الحقيقي.
- أما بروتوكولUDP ، فيتعامل مع فقدان الحزم بشكل مرن دون إعادة إرسال، مما يجعله أكثر ملاءمة لتطبيقات الفيديو والصوت الحي حيث تعتبر السرعة والاستمرارية أهم من إعادة إرسال الحزم المفقودة.

لذلك، يُعد تقليل فقدان الرزم جزءًا أساسيًا من تحسين جودة الخدمة في الشبكات اللاسلكية، ويمكن تحقيقه من خلال تقنيات إدارة الموارد، جدولة الأولويات، وتحسين آليات الوصول للوسط

6.المعيار 802.11e : (7)

تم تطوير المعيار IEEE 802.11e كتحسين للمعيار الأساسي 802.11 بهدف دعم جودة الخدمة (QoS) في الشبكات اللاسلكية النقالة. على عكس معيار 802.11 التقليدي الذي يمنح جميع تدفقات البيانات نفس الأولوية، يوفر 802.11e آليات تتيح تمييز تدفقات البيانات حسب نوعها وأهميتها، وهو ما يُعد ضروريًا لتطبيقات الوسائط المتعددة مثل الصوت والفيديو التي تتطلب زمن استجابة منخفض وعرض نطاق ثابت.

يعتمد المعيار 802.11e على خوارزمية Enhanced Distributed Channel Access (EDCA)، والتي تقسم البيانات إلى أربع فئات أولوية رئيسية:

1. الصوت (voice): أعلى أولوية لتطبيقات المكالمات الصوتية الحية.
2. الفيديو (vedio): أولوية عالية لضمان جودة نقل الفيديو الحي والمؤتمرات.
3. أفضل ما يمكن (Best-Effort): للتطبيقات التي لا تتطلب زمن استجابة محدد.
4. بيانات الخلفية(Background): أقل أولوية للتطبيقات غير الحساسة للزمن مثل تنزيل الملفات.

تُحسّن EDCA من إدارة الوصول للوسط عن طريق تعديل فترات الانتظار والفواصل بين المحاولات لكل فئة، مما يقلل من التصادمات ويزيد من كفاءة نقل البيانات المهمة. كما يدعم المعيار 802.11e آليات الإسناد الثابت والديناميكي لتوزيع الموارد بشكل متوازن بين التدفقات، مما يسهم في تحسين الإنتاجية وتقليل التأخير وفقدان الرزم، ويجعل الشبكات اللاسلكية النقالة أكثر قدرة على تلبية متطلبات التطبيقات الحساسة للزمن الحقيقي.

6.1. خوارزمية الوصول للوسط الموزع المحسنة(EDCA) Enhanced Distribution Channel Access:

تميز هذه الخوارزمية أنواع لتدفقات البيانات، ولكل تدفق له رتل خاص به ويخدم بطريقة القادم أولاً يخدم أولاً (FCFS) First Come First Service. عندما يصل الإطار لطبقة MAC يكون له قيمة للأولوية ويسند للرتل الخاص به حسب الأولوية. يوضح الجدول(1) الأولويات الافتراضية التي تسند لتدفقات البيانات حسب تصنيفات البيانات(ACs)، حيث يكون لبيانات الصوت (AC_Voice) أعلى أولوية ولبيانات الخلفية (AC_Background) أدنى أولوية.

الجدول(1) أولويات تدفق البيانات في خوارزمية الوصول للوسط الموزع المحسنة(EDCA)

الأولوية	تصنيفات البيانات
0	AC_Voice
1	AC_Video
2	AC_Besteffort
3	AC_Backgroung

لكل تدفق بيانات له الوسائط الخاصة به وهي: (7)

1- تباعد التحكيم بين الإطارات Arbitration Inter-Frame Spacing (AIFS):

هي أصغر فترة زمنية تنتظرها العقدة عندما يكون الوسط شاغراً قبل إرسال إطار البيانات.

2-القيمة الكبرى والصغرى لحجم نافذة التصادم (CWmax،CWmin) :

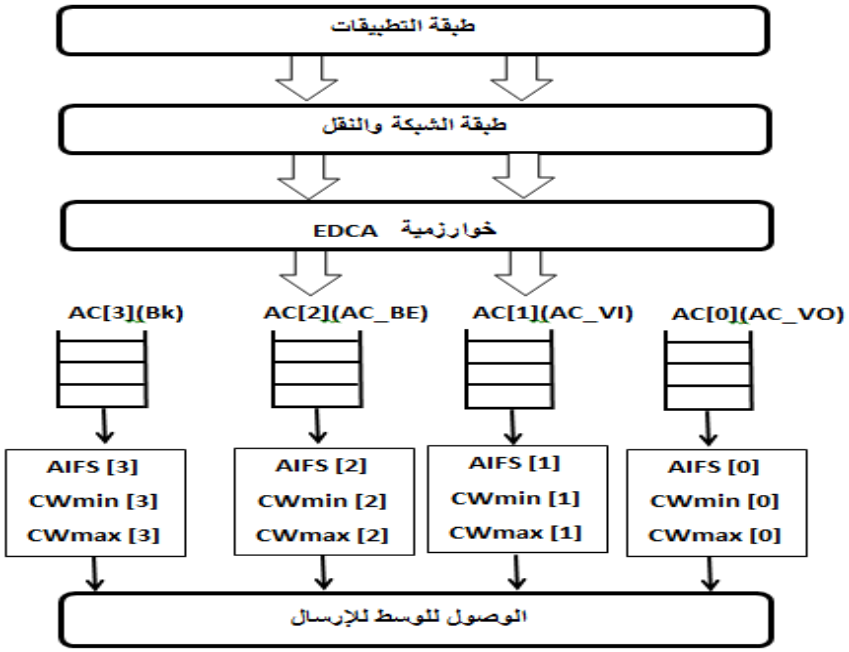
تصنيف البيانات (ACs) ذات الأولوية المنخفضة يكون لها قيم(CWmax،CWmin) كبيرة، لذلك حجم نافذة التنافس (CW) لها يكون كبير وبالتالي زمن الانتظار العشوائي (BO) كبير، كما أن تصنيف البيانات (AC) ذات الأولوية العليا يكون لها قيم (CWmax،CWmin) صغيرة، لذلك حجم نافذة التنافس (CW) لها يكون صغير وبالتالي زمن الانتظار العشوائي (BO) صغير.

3- فرصة النقل Transmission Opportunity (TXOP):

هي أكبر فترة زمنية مسموح بها للعقدة التي تدعم جودة الخدمة أن ترسل خلالها البيانات بعد حصولها على الوسط وإذا كانت قيمتها صفر، العقدة مسموح لها أن ترسل رزمة بيانات واحدة. يوضح الجدول (2) الوسائط الافتراضية المستخدمة في الخوارزمية (EDCA)[9].

الجدول(2) الوسائط الافتراضية المستخدمة في الخوارزمية(EDCA).

تصنيفات البيانات	CWmin	CWmax	AIFSN	TXOPlimit
AC_Voice	7	15	2	**0.003008**
AC_Video	15	31	2	**0.006016**
AC_Besteffort	31	1023	3	**0**
AC_Backgroung	31	1023	7	**0**



الشكل(1) آلية عمل خوارزمية التنسيق الموزع المحسن(EDCA). (7)

7.خوارزميات الأسناد عبر طبقة التمرير(Cross-Layer) لنقل الفيديو من النوع (MPEG4) باستخدام المعيار 802.11e: (7)

7.1. مشكلة جودة الخدمة في المعيار 802.11e:

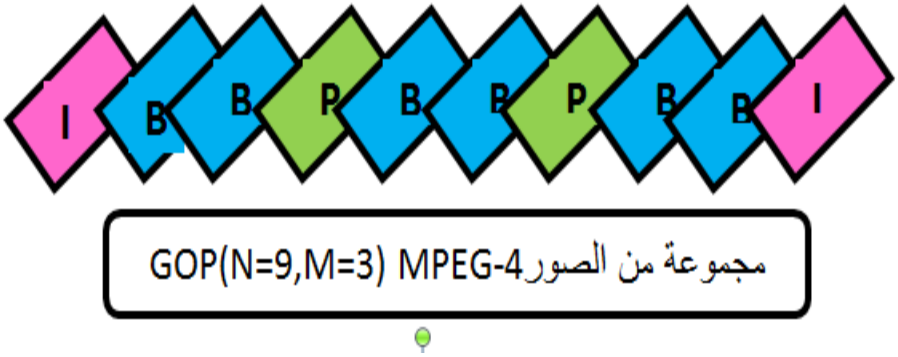
المعيار802.11e باستخدامه الخوارزمية EDCA لا يأخذ بعين الاعتبار محتوى بيانات الفيديو ويكون لجميع الأطر المكونة للفيديو نفس الأولوية بالوصول للوسط، لذلك تم اقتراح استخدام الترميز الهرمي (Hierarchical Coding) الذي يأخذ بعين الاعتبار محتوى بيانات الفيديو.

7.2. بنية الفيديو من النوع (MPEG-4): (8)

تتمثل تدفق بيانات الفيديو من النوع MPEG4 بثلاث أنماط من الأطر:

- (I Frame): الإطار (Inta-coded) I يرمز ويفك ترميزه كصورة ساكنة بشكل مستقل بدون أي علاقة بالأطر السابقة والتالية.
- (P Frame): الإطار (Predictive-coded) P يرمز ويفك ترميزه بالاعتماد على الأطر السابقة (P،I) في تدفق بيانات الفيديو.
- (B Frame): الإطار (Bi-direction Predictive-coded) B يرمز ويفك ترميزه بالتنبؤ بالأطر السابقة والتالية في تدفق بيانات الفيديو.

في تدفق بيانات الفيديو الإطار (I Frame) هو الأهم والإطار(P Frame) أكثر أهمية من الإطار (B Frame).



الشكل(2) بنية الفيديو من النوع MPEG-4. (8)

نلاحظ من الشكل(2) أن تدفق بيانات الفيديو من النوع MPEG4 مؤلف من تسلسل من الأطر تعرف ب GOP (Group Of Picture) تمثل ب G(N,M) ، حيث N هي المسافة بين إطارين من النوع I Frame (I-to-I frame distance) ، M هي المسافة بين اطارين من النوع I Frameو P Frame(I-to-P frame distance). نلاحظ من الشكل أن G(9,3) تدل أن GOP تتضمن إطار من النوع (I Frame) وإطارين من النوع (P Frame) وست أطر من النوع (B Frame) وبشكل مشابه الإطار الثاني من النوع (I Frame) هو بداية لتسلسل تدفق بيانات GOP جديد.

7.3. خوارزميات الإسناد لتحسين جودة نقل الفيديو: (7)

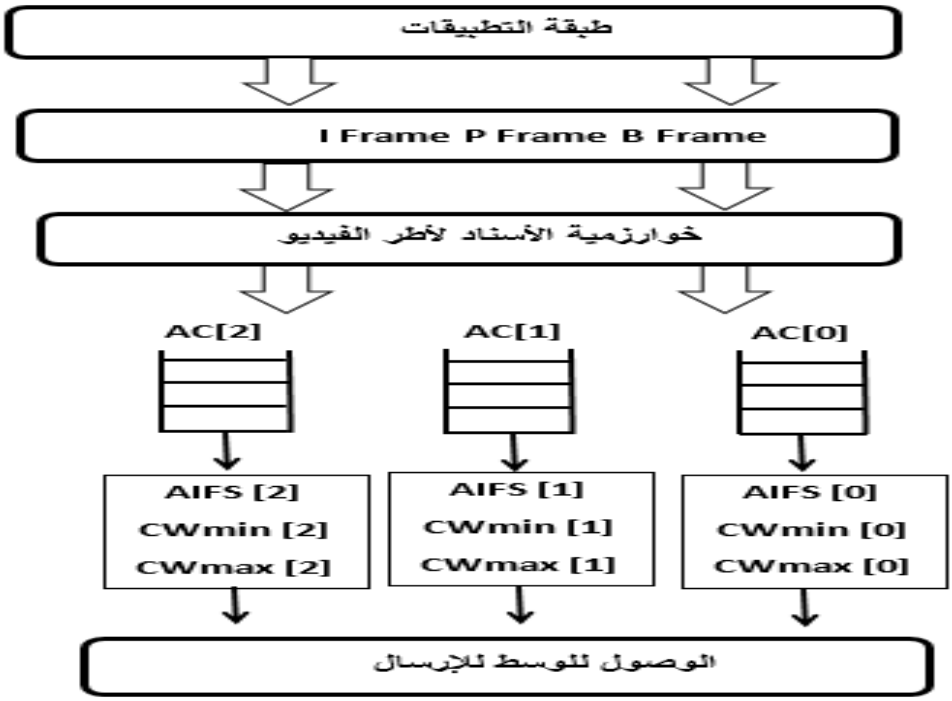
في المعيار IEEE 802.11e، تعتمد آلية الوصول إلى القناة على الخوارزمية الافتراضية Enhanced Distributed Channel Access (EDCA)، والتي تُعامل جميع أطر الفيديو بنفس مستوى الأولوية دون الأخذ في الاعتبار درجة أهمية كل إطار داخل تدفق الفيديو .هذه المحدودية تؤثر سلبًا في جودة الخدمة (QoS) خاصة في تطبيقات الفيديو التي تحتوي على أنواع مختلفة من الإطارات مثل (I،P،B) والتي تختلف في أهميتها وتأثيرها على جودة الصورة النهائية.

لتحقيق تحسين فعلي في جودة نقل الفيديو عبر الشبكات اللاسلكية النقالة، تم في هذا البحث دمج آلية الترميز الهرمي (Hierarchical Coding) ضمن إطار المعيار802.11e بالاعتماد على تصميم متعدد الطبقات (Cross-Layer Design) كما هو موضح في الشكل (3). يسمح هذا الدمج بتمرير معلومات من طبقة التطبيق إلى طبقة الوصول إلى الوسط (MAC) لتمكينها من تمييز الإطارات وتخصيص الأولويات بناءً على أهميتها الفعلية.

بناءً على ذلك، تم اقتراح خوارزميتين للإسناد تهدفان إلى تحسين جودة الخدمة في نقل الفيديو:

1. خوارزمية الإسناد الثابت (Static Assignment): يتم فيها تحديد أولوية ثابتة لأنواع الإطارات مثل إسناد أولوية عالية لإطارات I وأقل لإطارات P وB دون تغيير أثناء عملية الإرسال.
2. خوارزمية الإسناد الديناميكي (Dynamic Assignment): تعتمد على الحالة اللحظية للشبكة (مثل مستوى الازدحام أو معدل الفقد) لتعديل أولوية الإطارات بشكل ديناميكي بهدف تحقيق توازن بين الكفاءة والجودة.

في الخوارزميات المقترحة، تُستخدم الصفوف AC[2] و AC[1] و AC[0] لتصنيف أطر الفيديو تبعًا لأهميتها، في حين يُخصَّص الصف AC[3] حصريًا لبيانات الصوت لضمان استمرار جودة الخدمات الصوتية ضمن نفس النظام.



الشكل(3) تصميم بنية Cross-Layer. (7)

7.3.1. خوارزمية الأسناد الثابت (7):

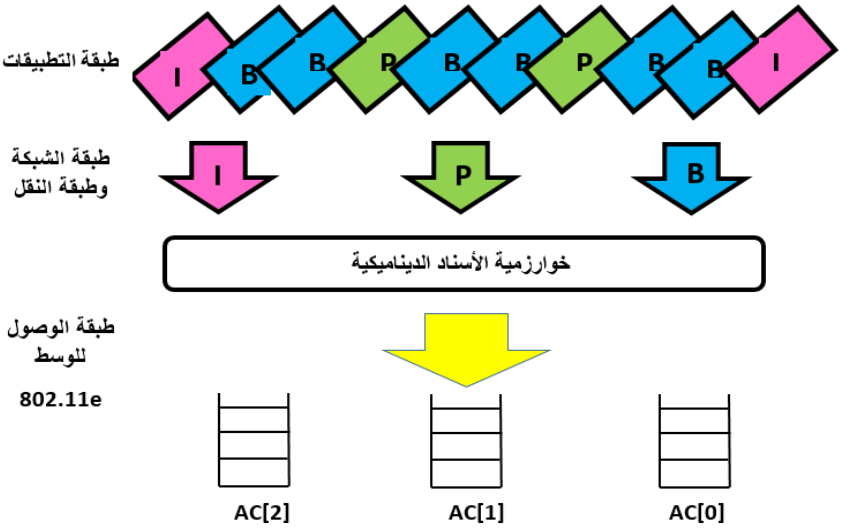
في هذه الخوارزمية، تُمنح أولوية إرسال الأطر تبعًا لأهميتها وتأثير فقدها أو تأخرها على جودة الفيديو الكلية .فالأطر التي لا يؤثر ضياعها أو تأخيرها بشكل كبير على جودة العرض تُعطى أولوية منخفضة، في حين تُمنح الأطر الأكثر أهمية أولوية أعلى لضمان وصولها في الوقت المناسب.

وفقًا لهذا المبدأ، يُخصَّص الإطار من النوع (I-Frame) أعلى أولوية نظرًا لدوره الأساسي في إعادة بناء تسلسل الفيديو، لذا يُسنَد إلى الصف[2]AC أما الإطار (P-Frame) فيُعطى أولوية متوسطة ويُخصَّص له الصف [1]AC، بينما يُعتبر الإطار (B-Frame) الأقل أهمية من حيث التأثير على جودة الصورة، فيُسنَد إلى الصف [0]AC.

من خلال تحليل سلوك الإرسال ضمن هذه الخوارزمية وبنية بيانات الفيديو، لوحِظ أن الصف AC[2]غالبًا ما يبقى شبه فارغ بسبب قلة عدد إطارات I ، في حين تمتلئ الصفوف AC[1] و AC[0] بشكل كبير نتيجة كثافة إطارات P و B. يؤدي ذلك إلى ازدياد التأخير واحتمال فقد بعض الرزم ضمن الأرتال الأقل أولوية، مما يؤثر سلبًا في جودة النقل. لذلك، تم اقتراح خوارزمية الإسناد الديناميكي كحل لتحسين كفاءة الإرسال وتقليل الفقد الزمني والبياني.

7.3.2. خوارزمية الاسناد الديناميكي (7):

تعتمد خوارزمية الإسناد الديناميكي على مبدأ التخصيص المتكيف لأطر الفيديو ضمن الأرتال المرتبطة بفئات الوصول (Access Categories – ACs) ، بحيث يتم تحديد أولوية كل إطار بصورة ديناميكية وفقًا لأهميته النسبية وحالة الحمل الحالية على الشبكة .يهدف هذا النهج إلى تحسين استغلال الأرتال ذات الأولوية العالية وضمان نقل أكثر كفاءة للأطر الحساسة زمنياً، كما هو موضح في الشكل(4).



الشكل(4) خوارزمية الإسناد الديناميكية. (7)

في هذه الخوارزمية، يتم منح كل إطار من أطر الفيديو أولوية إرسال تختلف باختلاف نوعه وحالة الازدحام الشبكي. إذ يحصل الإطار (I–Frame) على أعلى أولوية نظرًا لدوره المحوري في إعادة بناء المشهد الكامل للفيديو، وتُعبر أولويته عن طريق الاحتمالية .(Prob–I) يلي ذلك الإطار (P–Frame)ذو الأهمية المتوسطة والاحتمالية(Prob–P) ، ثم الإطار (B–Frame) الأقل أهمية والذي تُعطى له الاحتمالية.(Prob–B)

تعكس قيمة الاحتمالية هنا مستوى الأولوية، بحيث تكون العلاقة على النحو الآتي:

(Prob–I)>(Prob–P)>(Prob–B)

أي أن الأطر ذات الاحتمالية الأصغر تمتلك فرصة أكبر للإسناد إلى أرتال ذات أولوية أعلى. يتم في الوضع الطبيعي وضع أطر الفيديو في الصف AC[2] الذي يمتلك أعلى أولوية إرسال، ولكن عند ارتفاع معدل الحمل على الشبكة وتزايد عدد الرزم المرسلة، فإن النظام يقوم ديناميكياً بتوزيع الرزم الجديدة على أرتال أقل أولوية AC[1]) أو AC[0]) لتقليل احتمال فقد الرزم وضمان توازن الأداء بين معدلات الإرسال والازدحام. ولتحقيق إدارة أكثر كفاءة للأرتال الديناميكية، تُستخدم مجموعة من الوسائط والمعاملات الإدارية التي تضبط عملية الإسناد وفق الحالة اللحظية للشبكة، كما هو موضح في الجدول (7).

الجدول(3) بارامترات خوارزمية الإسناد الديناميكي.

Prob_TYPE	الاحتمالية لكل إطار فيديو (Prob_I),(Prob_P), (Prob_B)
Prob_New	الاحتمالية الجديدة لكل إطار فيديو (Prob_I), (Prob_P), (Prob_B)
threshold_low	عتبة دنية لطول الرتل (AC[2])
threshold_high	عتبة عليا لطول الرتل (AC[2])
qlen(AC[2])	طول الرتل (AC[2])

$$\text{Prob_New} = \text{Prob_TYPE} * \frac{\text{qlen}(\text{AC}[2]) - threshold_low}{threshold_high - threshold_low}$$

في هذا التابع تعتمد الاحتمالية لكل إطار على الاحتمالية السابقة وطول الرتل(AC[2]) ويتم إسناد الإطار للرتل حسب الاحتمالية الجديدة. الشكل(5) يوضح خوارزمية الاسناد الديناميكي المقترحة حيث أن الأطر ذات الاحتمالية الأقل لها فرصة أكبر لتسند لرتل بأولوية أعلى (7).

العقدة التي تريد إرسال إطار فيديو تتفحص طول الرتل(AC[2])، إذا كان أصغر من العتبة الصغرى (threshold−low)، أي أن الحمل عبر الشبكة خفيف يسند هذا الإطار إلى الرتل (AC[2]) بغض النظر عن أهميه، لكن إذا كان طول الرتل(AC[2]) أكبر من العتبة العظمة(threshold−high) أي أن الحمل عبر الشبكة كبير يسند هذا الإطار لأرتال بأولويات أقل (AC[1] أو AC[0]) حسب الاحتمالية المحسوبة للإطار ، أما إذا كان طول الرتل بين العتبتان الصغرى والكبرى يسند هذا الإطار إلى الأرتال (AC[0] أو AC[1] أو AC[2]) حسب الاحتمالية المحسوبة للإطار. تعطي هذه الخوارزمية فعالية لاستثمار الأرتال ذات الأولوية العليا وتقلل من معدل البيانات المفقودة مما يحسن من جودة نقل الفيديو.

When a video data frame arrives:
if(qlen(AC[2]) < threshold_low)
video packet → AC[2];
else if(qlen(AC[2]) < threshold_high) {

$$\text{Prob_New} = \text{Prob_TYPE} * \frac{\text{qlen}(\text{AC}[2]) - threshold_low}{threshold_high - threshold_low}$$

RN = a random number generated from Uniform function (0.0, 1.0);
if(RN > Prob_New)
video frame → AC[2];
else
video frame → AC[1];
}
else if(qlen(AC[2]) > threshold_high){
if(RN > Prob_TYPE){
video frame → AC[1];
else
video frame → AC[0];
}

الشكل(5) خوارزمية الإسناد الديناميكي.

8.القسم العملي:

قمنا باستخدام المحاكي NS2 بتنفيذ 4 سيناريوهات لنقل الفيديو: السيناريو الأول شبكة لاسلكية متحركة مكونة من 20 عقدة، السيناريو الثاني شبكة سلكية، السيناريو الثالث شبكة لاسلكية عالية السرعة، السيناريو الرابع شبكة لاسلكية متوسطة السرعة ونقل فيديو عالي الدقة.

8.1. السيناريو الأول: شبكة لاسلكية متحركة مكونة من 20 عقدة:

في هذه التجربة لدينا شبكة لاسلكية مكونة من 20 عقدة وسنقوم بنقل عدة تدفقات للبيانات: تدفق MPEG-4 عبر بروتوكول UDP وتدفق بينات ثابت FTP عبر البرتوكول TCP بحيث 5 عقد تبث فيديو و 5 عقد تبث بيانات TCP وباقي العقد تعمل كـ استقبال أو توجيه ، باستخدام كل من المعيار 802.11 والمعيار 802.11e . يظهر الجدول (4) اعدادات الشبكة.

الجدول(4) إعدادات السيناريو الأول: شبكة لاسلكية متحركة مكونة من 20 عقدة.

نوع الشبكة	Mobile Ad-Hoc (شبكة لاسلكية متحركة)
المعيار	IEEE 802.11 & IEEE 802.11e
عدد العقد	20عقدة
مساحة المحاكاة	1000m × 1000m
سرعة العقد	1-5 m/s (حركة عشوائية منخفضة)
مدة المحاكاة	300ثانية
نوع الفيديو	MPEG-4
حجم الرزم	1024بايت
نموذج التنقل	Random Waypoint

يظهر الجدول (5) نتائج المحاكاة وتأثير البروتوكول ونوع المعيار على جودة نقل الفيديو من النوع MPEG-4

في الشبكات اللاسلكية النقالة، ومقارنة أداء المعيارين IEEE 802.11 و IEEE 802.11e مع خوارزمية EDCA وخوارزميات الإسناد الثابت والديناميكي، حيث تمت الدراسة على خوارزمية

الاسناد الافتراضية DCF في المعيار 802.11 وخوارزميات EDCA، الاسناد الثابت الأسناد الديناميكي في المعيار 802.11e واستخدام بروتوكولي النقل TCP,UDP.

الجدول (5)جدول النتائج العملية للتجربة الأولى (شبكة لاسلكية 20 عقدة، فيديو MPEG-4 عبر(UDP + TCP)

معيار / خوارزمية	Throughput فيديو (kbps)	Throughput TCP (kbps)	Avg. Delay فيديو(ms)	Packet Lossفيديو (%)
802.11 + DCF (TCP+UDP)	350	420	150	18
802.11e + EDCA	460	410	90	10
802.11e + Static Assignment	480	405	85	8
802.11e + Dynamic Assignment	520	400	70	5

يمكن تلخيص نتائج هذا السيناريو بالجدول (6) التالي:

الجدول(6) ملخص نتائج السيناريو الأول.

المؤشر	أفضل أداء	ملاحظة
Throughputفيديو	802.11e + Dynamic Assignment	بسبب استغلال أفضل للأرتال ذات الأولوية العليا
Delayفيديو	802.11e + Dynamic Assignment	توزيع ذكي للحزم يقلل التأخير
Packet Loss	802.11e + Dynamic Assignment	يقلل ضياع الحزم المهمة للفيديو

8.2.السيناريو الثاني: شبكة سلكية Ethernet (TCP,UDP):

يهدف هذا السيناريو مقارنة أداء نقل الفيديو MPEG-4 عبر شبكة سلكية (Ethernet) مع تدفقات TCPوUDP و دراسة تأثير البروتوكول على جودة نقل الفيديو. يظهر الجدول (7) اعدادات السيناريو الثاني:

الجدول (7) إعدادات السيناريو الثاني: شبكة سلكية Ethernet (TCP,UDP).

نوع الشبكة	Ethernet (سلكية)
عدد العقد	10عقدة بث + 10 عقدة استقبال
سرعة الشبكة	100 Mbps
مدة المحاكاة	300ثانية
نوع الفيديو	MPEG-4
حجم الرزم	1024بايت
نوع البروتوكول	TCPوUDP
حركة العقد	ثابتة(Static)

يظهر الجدول (8) نتائج هذا السيناريو، حيث تظهر النتائج أن الشبكة السلكية تقدم أداءً أفضل بكثير من الشبكة اللاسلكية بسبب انخفاض التصادمات والتأخير وأن بروتوكول UDP أفضل للفيديو من TCP لأن TCP يتحكم في التدفق ويعيد إرسال الحزم المفقودة، مما يزيد التأخير قليلاً.

الجدول (8) نتائج السيناريو الثاني: شبكة سلكية Ethernet (TCP,UDP).

البروتوكول	Throughput فيديو (kbps)	Avg. Delay فيديو (ms)	Packet Loss (%)
TCP	550	60	2
UDP	580	50	1

8.3. السيناريو الثالث: شبكة لاسلكية عالية الحركة + 802.11e:

يهدف هذا السيناريو دراسة تأثير حركة العقد العالية (High Mobility) على جودة خدمة الفيديو باستخدام المعيار 802.11e وخوارزمية EDCA الثابتة والديناميكية. يظهر الجدول (9) إعدادات الشبكة:

الجدول (9)إعدادات السيناريو الثالث: شبكة لاسلكية عالية الحركة + 802.11e.

نوع الشبكة	Wireless Mobile Ad-Hoc
عدد العقد	20عقدة
سرعة العقد	10–20 m/s (High Mobility)
مساحة المحاكاة	1000m × 1000m
مدة المحاكاة	300ثانية
المعيار	802.11e
خوارزمية	EDCAوDynamic Assignment
نوع الفيديو	MPEG-4
حجم الرزم	1024بايت
البروتوكول	UDP

يظهر الجدول (10) النتائج التي تم الحصول عليها، حيث نجد أن الحركة العالية تزيد من فقدان الحزم والتأخير في EDCA الافتراضية، وأن الإسناد الديناميكي يحسن الأداء بشكل كبير من خلال توزيع الحزم المهمة على الرتب المتاحة.

الجدول (10) نتائج السيناريو الثالث: شبكة لاسلكية عالية الحركة + 802.11e

خوارزمية	Throughput فيديو (kbps)	Avg. Delay فيديو (ms)	Packet Loss (%)
EDCA	400	120	15
Dynamic Assignment	470	85	7

8.4.السناريو الرابع: فيديو عالي الدقة MPEG-4(HD) + شبكة لاسلكية متوسطة الحركة:

يهدف هذا السيناريو الى دراسة أداء الفيديو عالي الدقة (HD, 720p) عبر شبكة لاسلكية متوسطة الحركة باستخدام المعيار 802.11e. يظهر الجدول (11) إعدادات الشبكة:

الجدول(11) إعدادات السناريو الرابع: فيديو عالي الدقة (HD)MPEG–4 + شبكة لاسلكية متوسطة الحركة.

نوع الشبكة	Wireless Mobile Ad-Hoc
عدد العقد	15عقدة بث + 5 عقدة استقبال
سرعة العقد	1–5 m/s
مساحة المحاكاة	1200m × 1200m
مدة المحاكاة	400ثانية
معيار	802.11e
خوارزمية	EDCAوDynamic Assignment
نوع الفيديو	MPEG-4 HD
حجم الرزم	1500بايت
البروتوكول	UDP

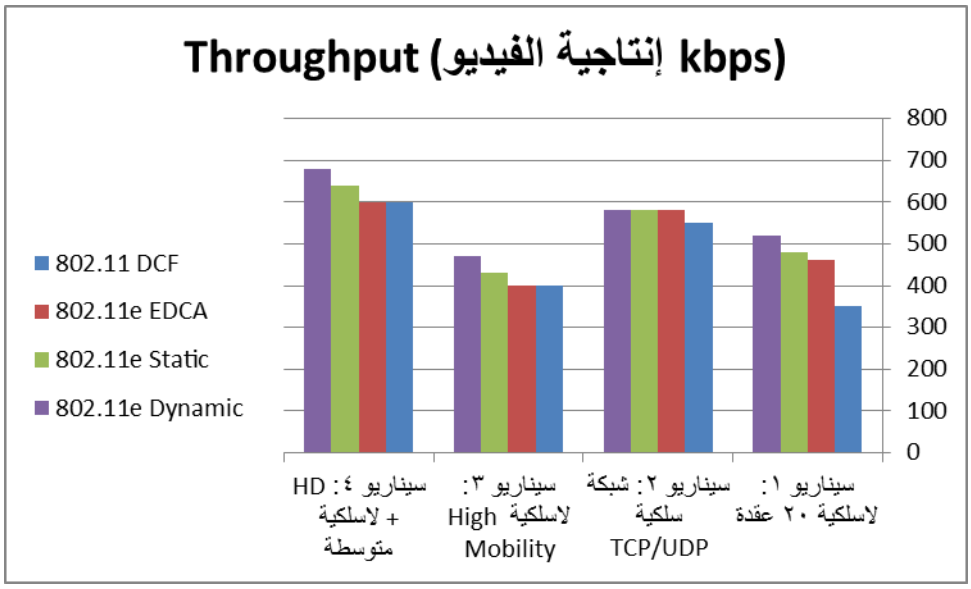
تظهر النتائج من الجدول (12) أن الفيديو HD يحتاج عرض حزمة أكبر، وأن خوارزمية الإسناد الديناميكي توفر تجربة مشاهدة أفضل وتقليل فقدان الحزم مقارنة بالـ EDCA الافتراضية.

الجدول(12) نتائج السناريو الرابع: فيديو عالي الدقة (HD)MPEG–4 + شبكة لاسلكية متوسطة الحركة.

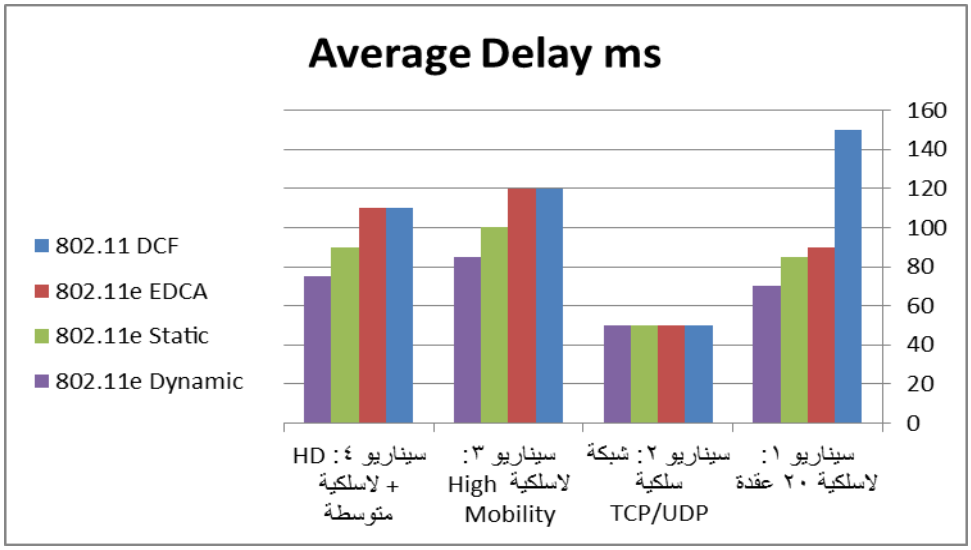
خوارزمية	Throughput فيديو (kbps)	Avg. Delay فيديو(ms)	Packet Loss (%)
EDCA	600	110	12
Dynamic Assignment	680	75	6

8.5. ملخص نتائج السيناريوهات السابقة:

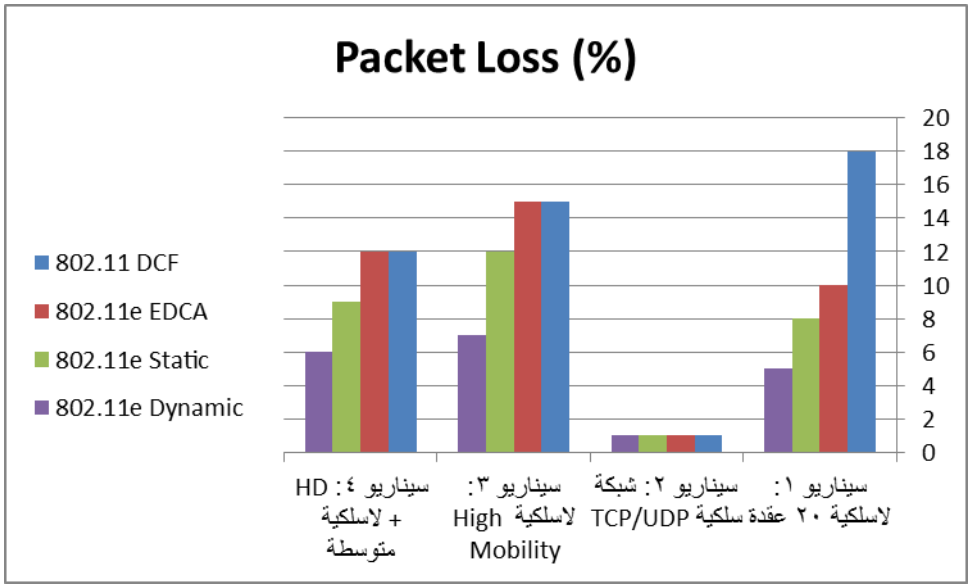
يمكن تلخيص نتائج السيناريوهات السابقة من خلال رسم مخططات جودة الخدمة(Throughput – Delay – Packet Loss) والتي يعبر عنها بالأشكال التالية:



الشكل(6) الإنتاجية للسيناريوهات المدروسة.



الشكل(7) متوسط التأخير للسيناريوهات المدروسة.



الشكل(8) نسبة فقدان الرزم للسيناريوهات المدروسة.

نلاحظ من السيناريوهات السابقة المدروسة أن الشبكة السلكية تتفوق بشكل طبيعي على اللاسلكية من حيث فقد الحزم والتأخير، وأن خوارزمية الإسناد الديناميكي في المعيار 802.11e تحقق أفضل أداء في جميع مؤشرات الجودة خصوصًا في الشبكات اللاسلكية مع حركة العقد أو فيديو عالي الدقة HD،حيث تعطي أفضل انتاجية لاستغلال الأرتال الذكية وتعطي أقل تأخير بسبب التوزيع الذكي للحزم، كما تخفض من عدد رزم الفيديو المفقودة بنسبة 3–4 مرات مقارنة بـ EDCA.

9. الخاتمة والابحاث المستقبلية:

أظهرت نتائج الدراسة أن المعيار IEEE 802.11e المزود بخوارزمية الإسناد الديناميكي يحقق أفضل أداء في تحسين جودة نقل الفيديو، من حيث انخفاض معدل فقد الرزم وتقليل التأخير الزمني مقارنةً بالمعيار التقليدي IEEE 802.11 ،كما بينت النتائج أن بروتوكول UDP يتفوق على TCPفي تطبيقات الفيديو الحساسة للتأخير، إذ يعاني تدفق TCPمن زيادة ملحوظة في زمن التأخير عند حدوث ازدحام في الشبكة نتيجة آلية التحكم في التدفق.

يسهم المعيار 802.11e في تحسين جودة خدمة (QoS) الفيديو في الشبكات اللاسلكية النقالة عبر تخصيص أولويات مختلفة لتدفقات البيانات، الأمر الذي يجعله مناسباً في حالات الحمل الخفيف على الشبكة. إلا أن الأداء قد يتأثر في حالات الحمل المرتفع بسبب زيادة احتمالية التصادم الناتجة عن كون فترة AIFS أقصر منDIFS ، مما يؤدي إلى انخفاض في الإنتاجية ونسبة تسليم الرزم.

أظهرت الدراسة أن استخدام خوارزميات الإسناد عبر طبقة التمرير (Cross–Layer) مع المعيار 802.11e في نقل فيديو من نوع MPEG–4، يوفر أداءً محسنًا، حيث تستغل الخوارزمية

الديناميكية الأرتال ذات الأولوية العالية بفعالية، مما يؤدي إلى جودة أفضل سواء في ظروف الحمل المنخفض أو العالي.

كما أكدت نتائج المحاكاة أن المعيار IEEE 802.11e يتفوق بوضوح على المعيار IEEE 802.11 في مؤشرات جودة الخدمة الخاصة ببيانات الفيديو، وأن خوارزمية الإسناد الديناميكي تحقق أداءً أفضل من الخوارزمية الثابتة والخوارزمية الافتراضية (EDCA) من حيث تقليل الفقد وتحسين الإنتاجية.

وفي ضوء هذه النتائج، يمكن توجيه الأبحاث المستقبلية نحو تطبيق خوارزميات الإسناد المقترحة على ترميزات فيديو أحدث مثل H.264 أو HEVC ، ودراسة أثر العوامل الديناميكية مثل سرعة العقد وحركة المستخدمين على أداء جودة الخدمة في بيئات الشبكات اللاسلكية النقالة.

10.المراجع:

1.“ Analysis of the 802.11e Enhanced Distributed Channel Access Function .Feyza Keceli, and Ender Ayanoglu, : – .arXiv preprint arXiv:0704.1833.2007 ،

2. A novel QoE based cross-layer scheduling scheme for video applications in 802.11 wireless LANs .Srinivasa Rao و Berlin Hency . ، –Feb. 2021 ،.Applied Sciences, vol. 3, art. no. 344.،

3.Effect of service differentiation on QoS in IEEE 802.11e ”،Journal of Engineering and Applied Sciences .G. O. Ugwu : – .Applied Sciences (JEAS).2022 ،

4. UDP-based Extremely Low Latency Streaming .S. Kim : – . Proceedings of IEEE/ACM Conference.2022 ،

5. Edge Selective Sharing for Massive Mobile Video .،F. Feng : – . IEEE Transactions on Multimedia / Computer Society Journal.2024 ،،

6. Performance Evaluation and QoS Optimization of Routing Protocols in Vehicular Communication Networks Under Delay Sensitive Conditions .A. M. e Zahou, F. A. E. Ali, D. M. I. Zayan, M. E. Elobaid, and T. Adam S. Alhomed : – .Computers, vol. 14, no. 7, art. no. 285 ، .2025

7. WLAN QoS Issues and IEEE 802.11e QoS Enhancement . Vityanathan .V and Chellaih Acharya.R : – .International Journal of Computer Theory and Engineering.2010 ،.

8.The MPEG-4 Book .F. Pereira and T. Ebrahimi : - .Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ.2002 ،،

9.Performance Evaluation and Quality of Service (QoS) in Wireless Networks .K. Indraveni, C. Ramakristanaiah : - .Wireless Communication Networks and Applications.2024 ،

10.NS Simulation for beginners.
http://ilab.cs.byu.edu/cs460/papers/altman03ns.pdf
11. http://www.isi.edu/nsnam/ns/
12. [NS-2], Network Simulator 2, the source code of ns2-allinone 2.35 can be downloaded from:
http://www.isi.edu/nsnam/ns/nsbuild.html
13. Using EvalVid in NS2
http://csie.nqu.edu.tw/smallko/ns2_old/Evalvid_in_NS2.rar