مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (2) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (2) 2016

تقييم أداء تقنيات إدارة الطّاقة في الأنظمة المضمنة المتنقلة باعتبار آليات النفاذ للوسط

الدكتور رضوان صالح دندة*
الدكتور محمد ياسين صبيح**
هبه حيدر***

(تاريخ الإيداع 23 / 8 / 2015. قُبِل للنشر في 7/ 4 / 2016)

□ ملخّص □

أصبحت تقنية التشبيك اللاسلكية (Wi-Fi) معياراً فعلياً للوصول اللاسلكي إلى الانترنت، ومع تزايد توافرية نقاط وصول لتلك الشبكات اللاسلكية نتيجةَ ما تقدّمهُ من معدّلات بيانات مرتفعة، تكاليف تجوال منخفضة، وتغطية جيدة داخل المباني، أصبح هنالك اتجاه قوي لإدراج النظّام الفرعي المضمّن Wi-Fi في كل أنواع الأجهزة سواء الحاسوبية منها أو المضمّنة. كان لزاماً على الهواتف الذّكية مع تبنيها لتقنية Wi-Fi تلبية مطلبين هما:

1- دعم جودة الخدمة من أجل إعطاء تفضيل لتطبيقات الزّمن الحقيقي.

2- تضمين وظائف توفير الطّاقة لتحقيق زمن تشغيل يلبي توقعات المُستخدمين.

قدّم هذا البحث تقنيةً جديدة لإدارة الطّاقة P-PSM، وهي عبارة عن دمجٍ لتقنية إدارة الطّاقة القياسية stdPSM، مع آليةِ نفاذٍ للوسط تعتمد على نافذةِ المنافسة للتزويد بجودة الخدمة، حيثُ جرى تقييم أدائها مقابلَ مجموعةٍ من تقنيات إدارة الطّاقة في ظل تغيير عدد العقد الشبكية، بغيةَ توضيحِ اختلافات الأداء من ناحيتي توفير الطّاقة وجودة الخدمة.

الكلمات المفتاحية: كفاءة الطّاقة، تقنيات إدارة طاقة Wi-Fi، طرق النفاذ للوسط، الهواتف النقالة.

* أستاذ- قسم النظم و الشبكات الحاسوبية-كلية الهندسة المعلوماتية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية
**مدرس- قسم النظم و الشبكات الحاسوبية-كلية الهندسة المعلوماتية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية
***طالبة دراسات عليا(ماجستير)- قسم النظم والشبكات الحاسوبية-كلية الهندسة المعلوماتية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (2) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (2) 2016

Performance evaluation of power management techniques in mobile embedded systems with consideration of medium access mechanisms

Dr. Radwan Saleh Dandeh*
Dr. Mohammed Yassin Sobieh**
Hiba Haider***

(Received 23 / 8 / 2015. Accepted 7 / 4 / 2016)

□ ABSTRACT □

Wireless LAN technology has become the actual standard for wireless Internet access, with increasing availability of access points for those wireless networks as a result of what they offer of high data rates, low roaming costs, and good in-building coverage. This led to a strong trend to the inclusion of Wi-Fi embedded sub-system in all kinds of devices included computing side, and embedded side.The smartphones with the adoption of Wi-Fi technology had to meet two requirements:

1- quality of service support for prioritizing real-time applications.

2- inclusion of power saving functionality to achieve an operating time meets the expectations of users.

This paper presents a new power management technique P-PSM, it is a combination of medium access mechanism depends on Contention Window to provide the quality of service, with standard power management technology stdPSM. In addition to evaluate its performance against a set of power management techniques under changing the number of network nodes in order to clarify the expected quantity differences in terms of both quality of service and power saving. .

Key words: energy efficiency, Wi-Fi power management techniques, access medium methods, mobile phones.

***Professor, Department of Systems and Computer Networks, Faculty of Information Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

****Associate professor, , Department of Systems and Computer Networks, Faculty of Information Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

***** Postgraduate student(Master) ,Department of Systems and Computer Networks, Faculty of Information Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة

إنّ الأنظمة المضمّنة تعريفاً هي أنظمة إلكترونية / كهروميكانيكية تتكون من عتادياتٍ (تجهيزاتٍ صلبة) وبرمجياتٍ عالية التخصص مصمّمة لتؤدي وظيفة معينة، كما أنّها موجودة كجزء حتمي في أي منتج أو جهاز. لقد أصبحت الأنظمة المضمّنة تلعبُ دوراً أساسياً وحيوياً في حياتنا اليومية نظراً لمناطق تطبيقها المختلفة التّي شملت قطاع الاتصالات، قطاع التحكم الصناعي، القطاع الطبي، المطارات .. إلخ، وحيثُ أنَّ الأجهزة التّي نستخدمها حالياً بشكلٍ مكثّف والمُدرجة تحت مسمّى أنظمة مضمّنة قد تطورت عبر تاريخها بناءً على التقدّم الحاصل في تقنية المعالجة، ليتم تصنيفها وفقاً لهذا المعيار إلى أجيالٍ كان أخرها الجيل الرّابع الذّي استفاد من تقنية النظام على الرقاقة System On Chip (SOC)، المعالجات القابلة لإعادة التشغيل، والمعالجات متعددة النوى، إلى جانب استعمال نظم تشغيل زمن حقيقي، وذلك بهدفِ تحقيقِ أداءٍ عالٍ. في هذا السّياق كانت الهواتف الذّكية وأجهزة الانترنت النقالة الأمثلة الأبرز لأنظمةٍ مضمّنة من الجيل الرّابع[1].

إنَّ الأجهزة المنتمية تصنيفاً إلى الجيل الرّابع في معظمها " أنظمة مضمّنة نقالة" Mobile Embedded Systems، باعتبار أنّها أنظمة مضمّنة مع واجهات شبكية تُستخدم للقيام بعمليات الاتصال. كما أنَّ تقنية التشبيك اللاسلكية Wi-Fi هي التقنية التّي تمَّ تبنيها على نطاقٍ واسع في أغلب أجهزة ذلك الجيل نظراً لانتشارها الواسع بسبب تكاليف تركيبها المُنخفضة إضافةً إلى ما تؤديه من ناحية تأمين جودة الخدمة (معدّلات بيانات مرتفعة) لتطبيقاتٍ تُستخدم الآن بكثرة على أنظمةِ الجيل الرّابع، مثل نقل الصّوت عبر بروتوكول الانترنت Voice Over (VOIP) Internet Protocol. كان لتبني تقنية Wi-Fi كنظامٍ فرعي مضمّن، عقوبةً تمثّلت بأنّها أضحت اللاعب الأبرز في استهلاك طاقة أجهزة الجيل الرّابع التّي تستمدها أساساً من البطاريات[2]، ومن هنا فقد تركّزت الجهود واتجهت أبحاث الطّاقة نحو ذلك النظام الفرعي(Wi-Fi)، حيثُ قدّم البروتوكول اللاسلكي عدّة تقنيات لإدارة الطّاقة [9,8.7]، تمايزت عن بعضها في مقدار كفاءة الطاقة المنجزة إضافةً إلى تفاوت قدراتها من ناحية تلبية متطلبات جودة الخدمة التّي تحتاجها التطبيقات الشبكية لا سيما التفاعلية منها.

أهمية البحث و أهدافه

بسبب التّوجه الكبير لاستخدام تقنية Wi-Fi في الهواتف الذّكية من أجل إنجاز عملياتِ الاتصال، ونظراً لاعتمادِ هذهِ الأجهزة على موارد طاقة محدودة (البطاريات)، فإنَّ ذلك أبرزَ أهميةَ العمل على تخفيض الاستهلاك الكهربائي للواجهات اللاسلكية، والذّي يلعب دوراً رئيسياً في إطالة العمر التشغيلي، وبالتّالي كسب رضا مستخدمي الهواتف الذّكية الذّين يتوقعون منها أن تُلبي متطلباتهم لأقصى وقتٍ ممكن دون الاضطرار إلى إعادةِ شحنها. مثل هذا التخفيض تمَّ إنجازه عن طريق تطبيق تقنيات لإدارة الطّاقة وضعها البروتوكول اللاسلكي تُوصف بالقياسية.

يهدف البحث المقدّم إلى دراسة تقنيتين قياسيتين وهما:

- نمط حفظ الطّاقة القياسي Standard Power Save Mode (**std PSM**).
- التسليم التلقائي لحفظ الطّاقة غير المجدول Unscheduled-Automatic Power Save Delivery .(**U-APSD**)

إلى جانب دراسة تقنيتين محسنتين لأداء تقنية إدارة الطاقة القياسية stdPSM، من حيث استخدامهما لآليتي نفاذ للوسط اللاسلكي تدعمان معايير جودة الخدمة وهما:

- النمط الموزع المحسّن للنفاذ إلى القناة مع حفظ الطّاقة EDCA- Power Save Mode (**E-PSM**).
- نمط حفظ الطّاقة مع نفاذٍ يعتمد على الأولويات Priority-Power Save Mode (**P-PSM**).

تقتضي الدراسة التقييمية لهذه التقنيات تحليل أدائهم سواء من ناحية كفاءة الطاقة المُنجزة أو جودة الخدمة التّي تتأثر نتيجةً لتشغيل الواجهة الشبكية اللاسلكية في وضع النوم بفعل آلية عمل التقنيات السّابقة، علاوةً على مساهمةِ طُرقِ النفاذ للوسط المُستعملة من قبل تقنيات إدارة الطّاقة في التأثير على أداء التطبيقات العاملة وفقاً لآلياتِ التفضيل المُتّبعة.

طرائق البحث ومواده:

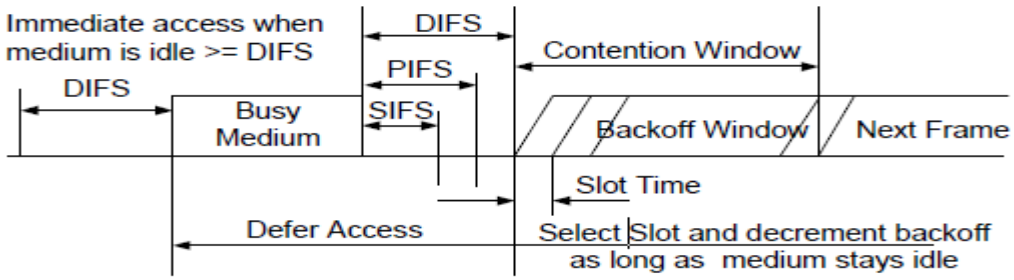
لتحقيق الأهداف المذكورة لا بدَّ بدايةً من التعرف على تقنيات إدارة الطّاقة وآلياتِ النفاذ للوسط اللاسلكي المُعتمدة من قبلها، ومن ثمّ تقييم أدائها عن طريق المُحاكاة باستخدام البرنامج OPNET وفقاً لمجموعةٍ من المعايير المُعتمدة في مثل هذا النوع من الأبحاث وهي استهلاك الطّاقة، تأخير الإرسال، المردود.

1- آليات النفاذ للوسط اللاسلكي التي تعتمدها تقنيات إدارة الطاقة

إنَّ التعريف بآليات النفاذ ضروري من أجل الفهم الدقيق لتقنيات إدارة الطاقة، والتّي سيتم التطرق إليها لاحقاً في هذا البحث.

1-1- وظيفة التنسيق الموزّع Distributed Coordination Function (DCF)

هو نمط النفاذ الأساسي لتشارك الوسط اللاسلكي باستخدام بروتوكول تحسس الحامل وإمكانية الولوج المتعدد مع تجنب التصادم Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance(CSMA/CA). وفقاً لهذا النمط وكما هو موضّح في الشكل (1)، يتوجب على أي محطة تريد القيام بعملية إرسال لرزمة بيانات، تطبيق آلية تحسس الحامل لتحدّد فيما إذا كان الوسط خاملاً أم مشغولاً. في حالةِ الخمول لفترةٍ زمنية أطول من Distributed Interframe Space (DIFS) يتم الإرسال فوراً، أمّا في حالِ الانشغال ستُرجئ المحطة الإرسال حتّى يصبح الوسط خاملاً مجدداً ولمدّةٍ زمنية تساوي على الأقل DIFS، وذلك عندما يكون الإطار المُرسل أخيراً تم استقباله بنجاح، أمّا عند إخفاق الإرسال فيجب أن تبقى القناة خاملة لفترةٍ تعادل Extended Interframe Space (EIFS)، ولكي نقلل من احتمالية التصادم يتم اختيار فترة " تراجع" backoff عشوائية من بعد انقضاء فترة تحسس الحامل السّابقة[4,3]. إنَّ القيمة العشوائية التّي يأخذها مؤقت التّراجع back off timer هي عدد صحيح ضمن المجال 0, [CW] (CW هي نافذة المنافسة (Contention Window) والتّي تأخذ أولياً القيمة CWmin)، يُعبّر عن عدد الحيزات الزّمنية التّي ينبغي على القناة أن تبقى خلالها خاملةً (idle) حتّى تتمكن المحطة من إرسال بياناتها، بحيث تتناقص قيمة ذلكَ المؤقت مع كل حيز زمني خامل، وعندَ بلوغهِ القيمة صفر تتم عملية الإرسال، أمّا في حال انشغال القناة خلال عملية التّراجع يتم تعليق العملية (تجميد المؤقت)، لتُستأنف مع القيمة المعلّقة عندَ خمول الوسط لفترةٍ زمنية تساوي DIFS. بطبيعة الحال من أجل كل إرسال ناجح، تقوم المحطة المستقبِلة بتأكيد استلام الإطار، بحيث يُرسل هذا التأكيد بعدَ فاصلٍ زمني قدره Short Inter Frame Space (SIFS)، وباعتباره أقل قيمةً من DIFS فإنَّ ذلك يشكل حماية له من منافسة المحطات الأخرى، على اعتبار أنّها تستأنف عملية التّراجع المعلّقة بعدَ زمنِ خمولٍ للقناة مقداره DIFS [3].



الشكل (1): النفاذ للوسط باستخدام DCF 802.11 [3]

1-2- النفاذ الموزّع المحسّن إلى القناة Enhanced Distributed Channel Access (EDCA)

تدعم هذه الآلية معايير جودة الخدمة عن طريق تقديم أربع أصناف نفاذ Access Classes (AC) هي AC_ VO (صوت)، AC_VI (فيديو)، AC_BE (أفضل جهد)، AC_BK (حركة معطيات خلفية)، يرتبط كل منها مع كيان" تراجع" back off entity مستقل. يتم توجيه إطارات البيانات إلى أصناف النفاذ بالاعتماد على ثمانية أولويات مختلفة تُدعى" أولويات المستخدم" user priorities، كما يبين الجدول (1)، حيث أنَّ كل إطار يصل طبقة التحكم بالنفاذ للوسط Medium Access Control(MAC) قادماً من الطبقات العليا يحمل في ترويسته قيمةً محددةً لأولويته [3].

الجدول(1): تنسيب أولويات المستخدم إلى أصناف النفاذ [5]

Priority	UP (Same as 802.1D user priority)	802.1D designation	AC	Designation (informative)
Lowest	1	BK	AC_BK	Background
	2	--	AC_BK	Background
	0	BE	AC_BE	Best Effort
	3	EE	AC_BE	Best Effort
	4	CL	AC_VI	Video
	5	VI	AC_VI	Video
	6	VO	AC_VO	Voice
Highest	7	NC	AC_VO	Voice

تُعطى الكيانات أولويات عن طريق استخدام قيم مُختلفة لبارامتراتِ المُنافسة الخاصة بأصنافِ النفاذ المرتبطة مع الكيانات، والتّي يُطلق عليها مجموعة بارامترات EDCA [4]. تُعرّف قيم البارامترات من قبل المنسق الهجين Hybrid Coordinator (HC)، والذّي بإمكانه تعديلها مُعلناً عنها بواسطة حقول المعلومات في إطار الإرشاد Beacon Frame [5,4]، يوضح الجدول (2) القيم الافتراضية لبارامترات EDCA.

الجدول(2): القيم الافتراضية لمجموعة بارامترات EDCA [5]

AC	CWmin	CWmax	AIFSN	TXOP limit
AC_BK	aCWmin	aCWmax	7	0
AC_BE	aCWmin	aCWmax	3	0
AC_VI	(aCWmin+1)/2 – 1	aCWmin	2	3.008ms
AC_VO	(aCWmin+1)/4 – 1	(aCWmin+1)/2 – 1	2	1.504ms

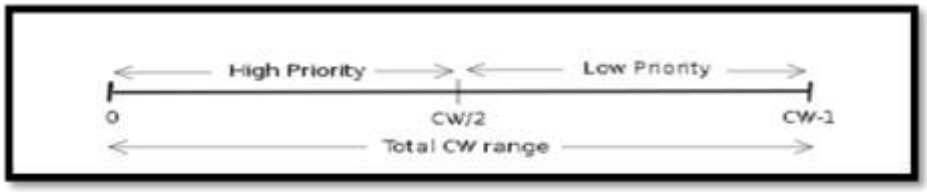
تُستخدم بارامترات EDCA المبوبة في الجدول أعلاه TXOP، AIFSN[AC]، CWmin[AC]، CWmax[AC]، عندما يقوم كل كيان تراجع من الكيانات الأربع بإنجاز نفاذ للوسط اللاسلكي قائم على المنافسة، وذلك بهدف الحصول على فرصة إرسال (Transmission Opportunity (TXOP، وهي عبارة عن فترة زمنية يملك الكيان خلالها أحقيةَ إرسال إطارات البيانات، حيث تُعرَّف فرصة الإرسال هذه بواسطة زمن البداية والمدّة، كما وتختلف بين الكيانات، بحيث تتبع أصناف النفاذ المعرّفة باعتبارها جزء من مجموعة بارامترات EDCA، ويتم الحصول عليها فعلياً بعد أن يبدأ عداد التراجع الخاص بالكيان بالتناقص، وذلك بفعل اكتشاف خمول القناة لفترةٍ زمنيةٍ تساوي المسّافة الزمنية التحكيمية بين الإطارات arbitration interframe space (AIFS[AC])، هذه المسافة تساوي على الأقل DIFS، وبالإمكان تضخيمها لأجل أصناف النفاذ باستخدام رقم المسافة الزمنية التحكيمية بين الإطارات arbitration interframe space number (AIFSN[AC])، وهو أحد بارامترات EDCA الذّي تُحدّد قيمته من قبل المنسق الهجين[1]، حيثُ أنَّ إعطائه قيمة صغرى يُنتج أولوية نفاذ عُليا للوسط، وعليه فإنَّ هذا الرّقم هو من يعرّف مدة AIFS[AC] و فقاً لِـ :

$$AIFS[AC] = SIFS + AIFSN[AC].\ ASlotTime^{2},\ AIFSN[AC] \geq 2$$

إنَّ انشغال القناة اللاسلكية خلال فترة تحسّس الحامل (AIFS[AC])، يستدعي القيام بعملية تراجع عن الإرسال (إرجاء الإرسال)، والتّي يتم فيها استخدام البارامترين CWmin[AC] و CWmax[AC] (نافذة المُنافسة الصّغرى والعظمى)، بحيث يأخذ عدّاد التراجع الخاص بالكيان قيمته الابتدائية من ضمن المجال [[CWmin[AC]، 0]، وبشكلٍ مشابه لوظيفة التنسيق الموزّع مع كل إرسال غير ناجح يزداد حجم نافذة المنافسة، لكنَّه لن يتجاوز أبداً قيمة البارامتر CWmax[AC]. إنَّ إسناد قيم صغرى لبارامتري المنافسة السّابقين يقتضي الحصول على أولويةِ نفاذٍ عُليا للوسط، لكنّها تترافق مع احتماليةِ تصادمٍ مرتفعة في حال كان هنالك أكثر من كيان خاص بصنفِ نفاذٍ معين يُنافس لولوج الوسط [4].

1-3- النفاذ للوسط اللاسلكي استناداً إلى الأولويات

تُشابه طريقة النفاذ "غير القياسية" هذه وظيفة التنسيق الموزّع DCF، إلاّ أنّها تقدّم آليةً تُمايز بها تطبيقات الزمن الحقيقي (صوت، فيديو) عن غيرها، وذلك عن طريق التزويد بمستويين من الأولوية(عالي ومنخفض)، بحيث تخصّص الأولوية العالية لتطبيقات الصّوت والفيديو، بينما تحظى تطبيقات البيانات (نقل الملفات، البريد الإلكتروني) بالأولوية المُنخفضة. إنجاز مثل هذا التمايز(التفاضل) يتم بالاعتماد على تقسيم مجال نافذة المنافسة CW إلى مجالين كما في الشكل (2)، بحيث يأخذ عدّاد التراجع Back off قيمته من النصف السّفلي لنافذة المنافسة وذلك بالنسبة لصنف الأولوية العالية، أمّا من أجل صنف الأولوية المنخفضة فسيأخذ العدّاد قيمته من النصف العلوي لمجال نافذة المنافسة[6] .

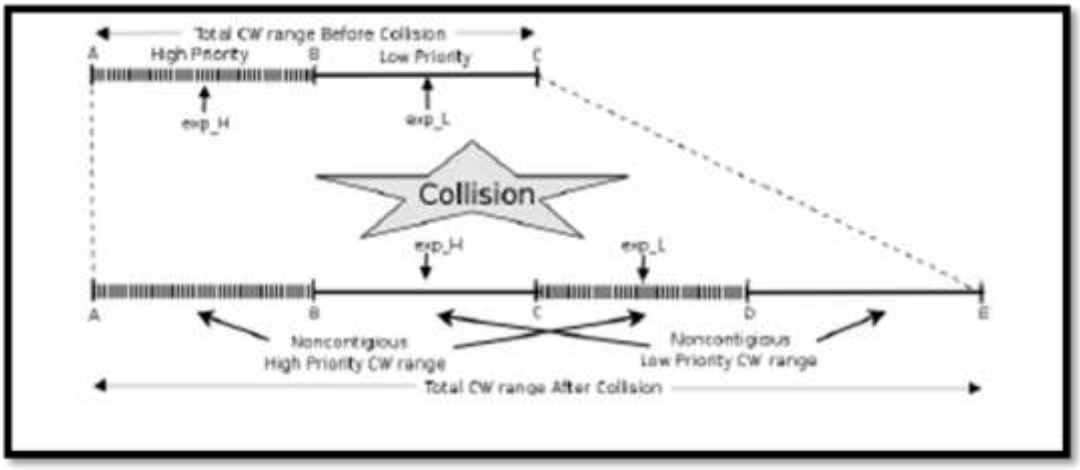


الشكل(2):مجالاتٍ مختلفة لأجل صنفي الأولوية [6]

[1] **تلعب نقطة الوصول دور المنسق الهجين.**

[2] **ASlotTime تُعرّف مدّة الحيز الزمني.**

بناءً على الآلية السّابقة فإنَّ الرّزم العائدة لتطبيقاتٍ ذات أولوية عالية ستُعاني من متوسط تأخير أقل ممّا هو عليه للرّزم التّي تنتمي لتطبيقاتِ الأولوية المُنخفضة، وبالتّالي ستستقبل مردوداً أعلى. إنّ انتظار الإطارات ذات الأولوية المُنخفضة زمناً أطول من تلك المُنتمية لصنفِ الأولوية العالية كي تحصل على فرصةٍ للإرسال يبدو غير عادل، إلاّ أنَّ تناقص عدّاد الأولوية المُنخفضة إلى قيمةٍ تقع ضمن المجال الذّي يأخذ منه عدّاد الأولوية العالية قيمته سيحقق المساواة بين الصّنفين، وعليه فإنَّ هذا التغيّر الديناميكي في الأولوية يُساعد على إنجاز العدالة بالنسبة للبيانات ذات الأولوية المُنخفضة [6]. كما وتتعامل طريقة النفاذ هذه مع التصادم عن طريق زيادة مجال نافذة المنافسة CW (لكل صنف أولوية) بشكلٍ خطي، بحيث أنّ كل محاولة إرسال غير ناجحة ستؤدي لزيادة المجال بمقدار CWmin، وبالاستناد على هذه الزيادة الخطية يكون بالإمكان تخفيض فرق التأخير بين الرّزم المُرسلة من دوراتِ تراجع مختلفة، مقارنةً مع التأخير المُلاحظ في آلية النفاذ DCF التّي تعتمد الزيادة الأُسية. نتيجةً لآلية تقسيمِ المجال السّابقة وبسبب التصادمات ستغدو مجالات أصناف الأولوية غير متلاصقة noncontiguous، كما هو موّضح في الشكل (3)، وحيثُ أنَّ لذلك ميزّتين هما: (1)- إطارات الأولوية العالية والمُنخفضة التّي تتصادم في حالات الحمل المُرتفع لن تتصادم مجدداً. (2)- الاختلاف بين القيم المتوقعة لعدّاد التراجع الخاص بكل صنف أولوية سيبقى نفسه بغض النّظر عن دورة إعادة الإرسال، وهذا ما يجعل الأداء من ناحية التأخير بين الصّنفين السّابقين لا يزال دون تغيير[6] .



الشكل(3):تأثير التصادم على مجال نافذة المُنافسة CW لأجل صنفي الأولوية [6]

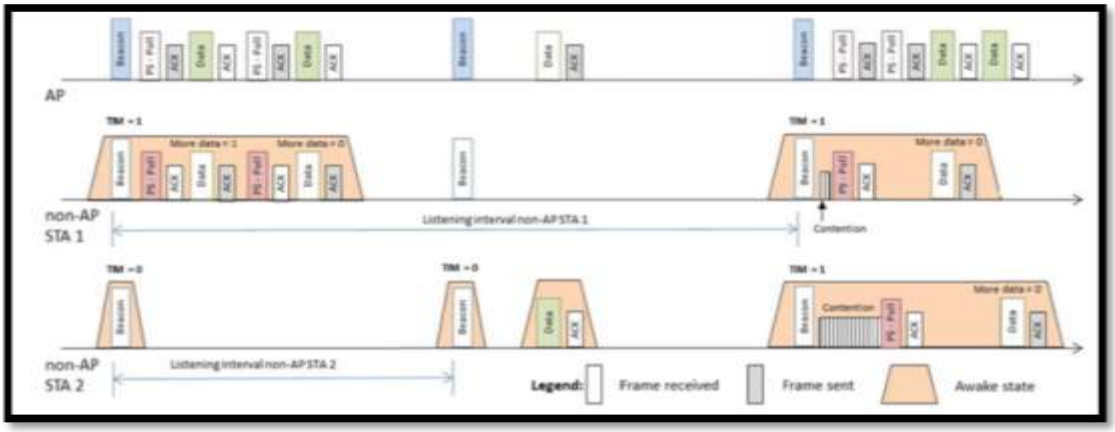
2-تقنيات إدارة طاقة Wi-Fi

2-1- نمط حفظ الطاقة القياسي standard power save mode (std PSM)

تتم إدارة الطاقة بشكلٍ مركزي، وذلك في شبكات المناطق المحلية اللاسلكية التّي تعتمد على نقاط الوصول لأجل إنجاز عمليات الاتصال، حيثُ تحتفظ نقطة الوصول بحالة إدارة الطاقة للمحطات المرتبطة معها، علماً بأنّ الأخيرة تقوم بإبلاغ نقطة الوصول بتلكَ الحالة خلال عملية الارتباط، وذلك عن طريق استخدام" بت إدارة الطاقة " power- management bit الموجود في حقل التحكم للإطاراتِ المُرسلة [9,8].

يَستخدم نمط حفظ الطّاقة std PSM وظيفة التنسيق الموزّع كآليةِ نفاذٍ للوسط، كما أنّهُ يسمح للمحطات بالدخول في حالة النوم، عن طريق التخزين المؤقت لإطارات البيانات الموجهة إليها في نقطةِ الوصول. يتم إعلام المحطات بوجود البيانات المخزّنة، بواسطة استخدام حقل "خريطة بيان حركة المعطيات" (TIM) Traffic Indication Map، المُتواجد في إطار الإرشاد Beacon frame، والذّي يرسل دورياً من قبل نقطة الوصول كل 100 msec [9] . بإمكان المحطات تحديد زمن وصول إطار الإرشاد التالي من خلال استخدامِها لمعلوماتٍ

مُرسلة مسبقاً من قبل نقطة الوصول تُدعى "زمن إرسال إطار الإرشاد الهدف" ، حيثُ تنتقل من حالة النوم إلى حالة النشاط عند ذلك الزمن بهدف القيام بعملية الاستقبال. إن اكتشفت المحطات وجود بيانات موجهة إليها مخزنة لدى نقطة الوصول قامت بإرسال إطار Power Save Poll (PS-Poll) مطالبةً من خلاله بتسليم تلك البيانات، حيث تقوم نقطة الوصول بالاستجابة إمّا عن طريق إرسال تأكيد استقبال، يعقبهُ إرسال لإطار البيانات، أو تستجيب نقطة الوصول بشكلٍ مباشر مُرسلةً إطار البيانات. عند تواجد المزيد من البيانات المخزّنة، يتم تفعيل بت "بيانات أكثر" More Data bit (MD)الموجود في حقل تحكم إطار البيانات المُرسل من نقطة الوصول إلى المحطة اللاسلكية العاملة في نمط حفظ الطّاقة، بناءً عليه ستقوم المحطة مجدداً بإرسال إطار PS-Poll ، حيثُ تتكرر هذه العملية حتّى يتم تسليم جميع الإطارات المخزنة مؤقتاً، وعند ذلكَ فقط تعود المحطة لنمطِ النوم. إنَّ عدم الاستجابة لإطار PS-Poll، يدفع بالمحطة لإعادة إرساله مكررةً ذلك حتى تتلقى استجابةً أو تبلغ حد إعادة المحاولة retry limit، كما وتجب الإشارة إلى أنَّ إرسال المحطة اللاسلكية لإطار بيانات إلى نقطة الوصول لا يستدعي منها أن تقوم بتأخير الإرسال إلى زمن استقبال إطار الإرشاد التّالي، بل تنتقل إلى الوضع النشط على الفور من أجل القيام بعملية الإرسال. آلية عمل هذه التقنية المبينة أعلاه يوضّحها الشكل (4) [9] .



الشكل (4): آلية عمل نمط حفظ الطاقة std PSM [8]

2-2- التسليم التلقائي لحفظ الطاقة غيرالمجدول Unscheduled-Automatic Power Save Delivery (U-APSD)

إنَّ الفكرة الرئيسية وراء تصميم التقنية U-APSD، هو استخدام كل من إطارات البيانات QoS data[3] المرسلة من المحطة اللاسلكية إلى نقطة الوصول، وإطارات QoS null[4] التّي تعمد المحطة إلى استخدامها عندَ عدم امتلاكها لبياناتٍ ترسلها إلى نقطة الوصول "uplink"، كمؤشراتٍ للحظات الزّمنية التي تكون فيها المحطات التّي تطبق آليات حفظ الطّاقة في حالة نشاط. عند تلقي نقطة الوصول لمثل هذهِ المؤشرات، فإنّها تبدأ فترة خدمة غير مجدولة يتم خلالها تسليم عدد من إطارات البيانات التّي تنتمي نوعاً إلى أصنافِ نفاذٍ تُوصف بكونها مُمكّنة التسليم (delivery-enabled)، وتُحدّد قيمة هذا العدد في حقل "الطول الأعظمي لفترة الخدمة" maximum service period length (Max_SP_Length)، الذّي يُملأ من قبل المحطة عند الارتباط، وحيثُ يُشير 6,4,2 أو كل الإطارات

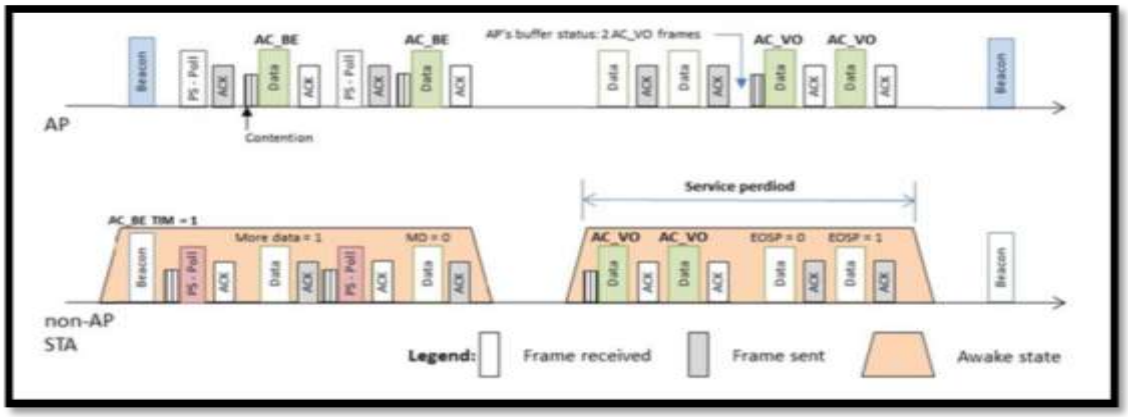
[3] **QoS data : هي إطارات بيانات بأولويات نفاذ للوسط تختلف باختلاف التطبيقات المرسلة لها.**

[4] **QoS null: هي إطارات لا تحمل حمولة صافية (payload)، يتم إرسالها بشكل دوري و بأولوياتٍ مختلفة، كي تقوم بتحفيز نقطة الوصول على إرسال البيانات المخزنة.**

المخزّنة. إنَّ نهاية فترة الخدمة مشروطة باستقبال المحطة لإطار QoS data أو QoS null مع وجود القيمة 1 في بت نهاية فترة الخدمة(End Of Service Period (EOSP، علماً بأنَّ هذا البت يأخذ القيمة 0 من أجل جميع الإطارات ضمن فترة الخدمة للدلالة على استمراريتها [8].

تستخدم تقنية إدارة الطّاقة U-APSD آلية النفاذ EDCA، والتّي تعرّف أربع أصناف نفاذ (AC_VO, AC_VI, AC_BE, AC_BK)، حيثُ تُعّد هذه الأصناف بشكلٍ منفصل لتكون ممكّنة التسليم /التحفيز. إذا تمَّ تمكين صنف أو أكثر كمحفّز (trigger)، فإنَّ استقبال نقطة الوصول لإطار QoS data أو QoS null من تلك الأصناف سيدفعها كي تبدأ فترة خدمة، أمّا في حال امتلاك المحطة لصنف نفاذ أو أكثر مُعد ليكون ممكّن التسليم، فإنّه بمجرد أن تبدأ المحطة فترة خدمة ستقوم نقطة الوصول بتسليم إطارات البيانات المخزنة مؤقتاً الموافقة لتلك الأصناف وذلك باستخدام EDCA [8].

يوضّح الشكل (5) آلية عمل التقنية U-APSD، وكما هو مبين تمتلك العقدة STA صنف نفاذ AC_BE (أفضل جهد) غير معّد ليكون ممكّن التسليم أو التحفيز، بالإضافة إلى صنفِ نفاذٍ آخر AC_VO (صوت) تم إعداده لكي تكون إطاراته مُمكّنة التسليم والتحفيز. مبدئياً تستمع البطاقة اللاسلكية للعقدة STA إلى إطار الإرشاد، بحيث تُدرك بعد استقباله بأنّه يشير إلى وجود إطارات مخزّنة تنتمي إلى صنف النفاذ AC_BE، وعندئذ سيتم استرداد تلك البيانات باستخدام التقنية stdPSM على اعتبار أنَّ هذا الصنف لم يتم تفعيله لكي يكون ممكّن التسليم أو التحفيز. لاحقاً تنتقل البطاقة اللاسلكية إلى حالة النشاط مرسلةً إطارات صوت، وبما أنَّ صنف النفاذ هذا تم تفعيله لكي يكون مُمكّن التحفيز، لذلك ستبدأ نقطة الوصول فترة خدمة غير مجدولة تفرض على البطاقة اللاسلكية للمحطة البقاء في حالةِ انتظارٍ لتسّلم إطاراتِ الصّوت (بسبب أنَّ صنف النفاذ AC_VO مُمكّن التسليم)، وحيثُ تتم الإشارة في وقتٍ لاحق إلى نهاية فترة الخدمة عن طريق إعطاء البت EOSP القيمة 1، وذلك في أخر إطار بيانات(صوت) مُرسل [8].



الشكل (5):آلية عمل التقنية U-APSD [8]

2-3-النمط الموزّع المحسّن للنفاذ إلى القناة مع حفظ الطّاقة

(E-PSM) enhanced distributed channel access-Power Save Mode

إنَّ المشكلة الأبرز التّي تواجه تقنية إدارة الطّاقة stdPSM تظهر لدى استخدامها مع التطبيقات الحسّاسة لمعايير جودة الخدمة نظراً لما تسببه من تأخيرٍ لرزم البيانات المُرسلة من نقطة الوصول إلى عقد حفظ الطاقة (الاتجاه الهابط)، وهو ما قد يكون غير مقبول لتطبيقات الزّمن الحقيقي، وعليه فإنَّ دمج تلك التقنية مع معايير جودة الخدمة

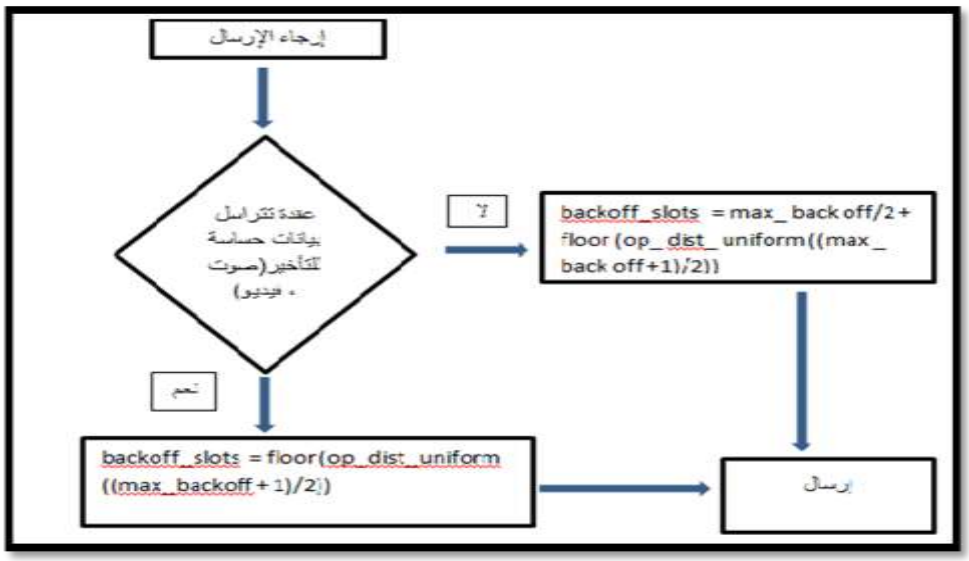
المُزودة من قبل البروتوكول 802.11e (EDCA) سيساهم في رفعِ جودة الأداء، وهذا ما تمّ إنجازه في التقنية E-PSM، والتّي جرى تقييم لأدائها مقابل آلية النفاذ للوسط EDCA دون تفعيلٍ لتقنية إدارة الطّاقة، حيثُ تمَّ التوصل إلى الاستنتاجات التالية [9]:

- ✓ تتأثر معايير جودة الخدمة بوظيفة نمط حفظ الطّاقة لكنّها لاتزال فعالة.
- ✓ يجب أن يولى إعداد فترة الإرشاد Beacon Interval عنايةً خاصة، نظراً لتأثيرها الهام على تأخير إرسال الرّزم في الاتجاه الهابط.
- ✓ تُنقص التكلفة الإضافية (حمل التأشير) المقدمة بواسطة نمط حفظ الطاقة، وإلى حدٍّ كبير من عرض الحزمة المتوفر لأجل إرسال البيانات عبر الشبكة المحلية اللاسلكية.
- ✓ في الأجهزة التّي يشكل التوفير الكهربائي قضيةً حرجة بالنسبة إليها، فإنَّ كفاءة استخدام الطّاقة في حالة عدم ازدحام الشبكة تبّرر كلفة استخدام PSM.

2-4-نمط حفظ الطّاقة مع نفاذٍ للوسط يعتمد على الأولويات

(P-PSM)Priority based medium access mechanism-Power Save Mode

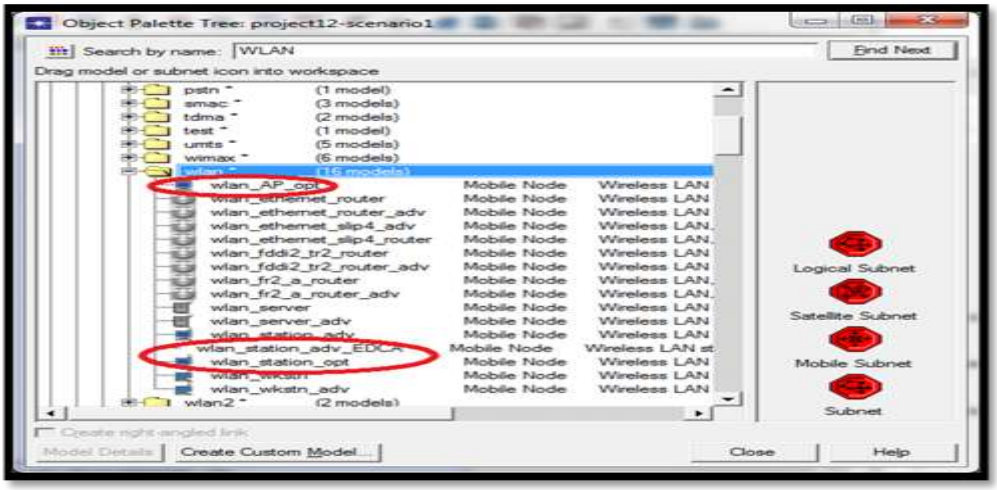
استمراراً للجهود المبذولة في سبيل تحسين جودة الخدمة المقدّمة مع تقنية إدارة الطّاقة القياسية stdPSM، ونظراً لحقيقة أنَّ آليات النفاذ للوسط تتمتع بتأثيرٍ هام على أداء تقنيات إدارة الطّاقة فيما يتعلق بمعايير جودة الخدمة، فقد تمَّ اقتراح التقنية P-PSM، والتّي اعتمدت آلية النفاذ إلى الوسط اللاسلكي استناداً إلى الأولويات الموصوفة في الفقرة (3-1)، لكي تفاضل بين أصناف المعطيات بإعطاء بيانات الزّمن الحقيقي أولويةً أعلى من البيانات غير الحسّاسة للتأخير عن طريق تقسيم مجال نافذة المنافسة CW إلى نصفين. تطلب دمج آلية النفاذ هذه مع تقنية إدارة الطّاقة stdPSM القيام بتعديلاتٍ برمجية على الطبقة MAC للعقد اللاسلكية، وذلك من أجل منح عدّاد التراجع للعقد ذات الأولوية العالية (تتراسل بيانات صوت وفيديو) قيماً من نصف المجال السّفلي لنافذة المنافسة [0 , CW/2]، وإعطاء عدّاد عقد الأولوية المنخفضة قيماً من نصف المجال العلوي [CW/2, CW-1]، كما هو موضّح في الشكل(7)، فضلاً عن الزيادة الخطية لنافذة المنافسة بعد التصادم بدلاً من الأُسيّة.



الشكل(7): مخطط تدفقي لأجل تجنّب التصادم بالاعتماد على الأولويات

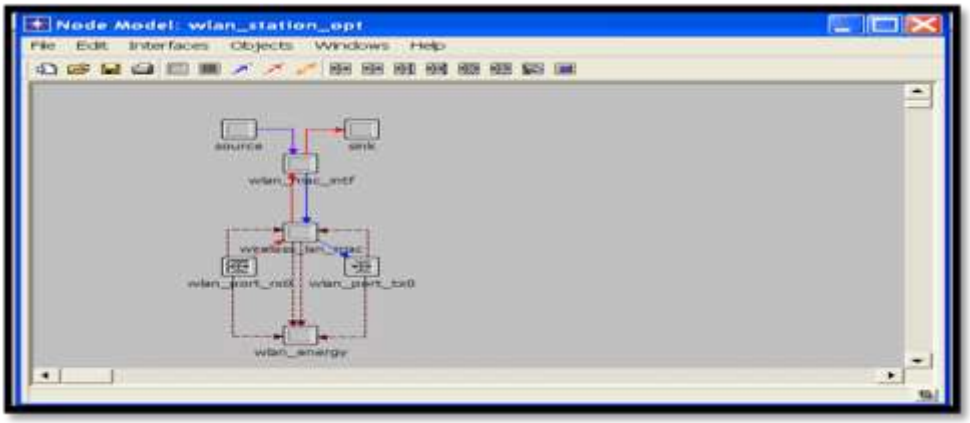
تهيئة بيئة الهدف لإجراء عملية التقييم

يدعم المحاكيOPNET نمذجة كل من شبكات الاتصال والأنظمة الموزّعة، حيثُ أنَّ النماذج الناتجة يمكن تحليل أدائِها وسلوكها [10]، إلاّ أنّهُ لا يدعم تقنيات إدارة الطّاقة أو ما يُدعى طاقة العقد، لذا كان لابدَّ من توسيعِ المكتبة اللاسلكية الخاصة بهذا المحاكي لتشمل نمط حفظ الطاقة القياسي stdPSM، وكل من آليات توفير الطّاقة وجودة الخدمة المقدّمة بواسطة البروتوكول 802.11e (U-APSD & EDCA)، كما يُظهر الشكل(8).



الشكل (8): توسيع المكتبة اللاسلكية بعقدٍ تدعم تقنيات إدارة الطّاقة

سيناريو المحاكاة المستخدم في تقييم أداء تقنيات إدارة الطّاقة (std PSM، U-APSD، E-PSM، و P-PSM) يعتمد نمط نقطة الوصول، حيثُ تمَّ تحديد مجموعة أساسية تتألف من أربعِ عُقدٍ لاسلكية تتوزع حول نقطة الوصول كل منها تُرسل وتستقبل بيانات من إحدى التطبيقاتِ التّالية: صوت، فيديو، نقل ملفات، تصفح انترنت. يتم زيادة عدد العقد على هيئةِ مضاعفاتٍ من هذهِ المجموعة الأساسية بدءً من ثلاثِ مجموعاتٍ(12عقدة) وانتهاءً مع ثلاثين مجموعة (120عقدة)، وذلك بهدف دراسة تأثير زيادة عدد العقد اللاسلكية على معاييرِ الأداء المُختارة (استهلاك الطاقة، تأخير الإرسال، المردود)، يوضّح الشكل(9) نموذج العقد المستخدمة. تشكيل مجموعة هذه السيناريوهات يأتي بدافعِ التّوصل إلى استنتاجاتٍ تتمحور حول إيجادِ تقنياتِ إدارةِ الطّاقة للنظّامِ اللاسلكي الفرعي المضمّن Wi-Fi، التّي تحقّق استهلاك طاقة أصغري دونَ مُلاحظةِ انخفاضٍ كبيرٍ في مستوى أداءِ التطبيقاتِ العاملة على الأجهزة التّي تستخدم ذلكَ النظّام اللاسلكي.



الشكل (9): نموذج العقدة اللاسلكية

-إنَّ الإعدادات المُستخدمة في المحاكاة من أجلِ التطبيقات الشبكية العاملة على العقد اللاسلكية هي:

☒ Voice: يتم استخدام G.711 codec مع اخمادِ الصّمت بمعدل بيانات قدره 64 kbps، طول الإطار 20ms، تدفق الكلام أُسي (exponential) بمتوسط 0.35 sec وتدفق الصّمت كذلك أُسي مع متوسط 0.65 sec.

☒ Video: يتم استخدام MPEG-4 codec، حيث أنَّ فترة توليد إطار البيانات تساوي 40 ms، مع معدّل بيانات متوسط قدره 1 Mbps.

☒ Web: زمن الوصول البيني للصفحة موزّع أسياً مع متوسط 15 sec، حجم الصفحة 10 KB، بالإضافة إلى(80-20) غرض مع حجم موزّع بشكلٍ مُتجانس بين 5 حتّى 10 كيلو بايت .

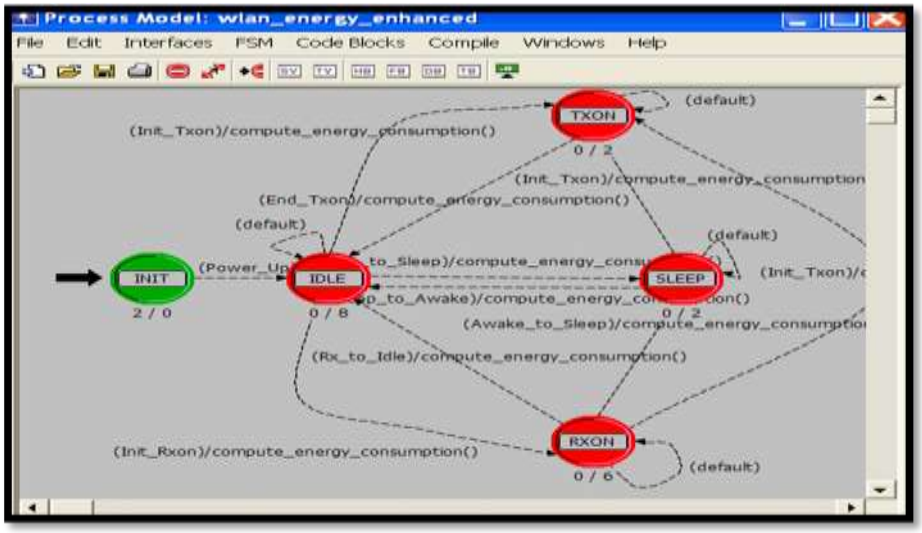
☒ ftp: حجم ملف التنزيل 20MB.

-كما أنَّ لطرقِ النفاذِ إلى الوسطِ اللاسلكي بارامترات يجب تهيئتها، والجدول (3) يُبيّن القيم الممنوحة لها. تمَّت تهيئة مجموعة بارامترات EDCA[5] بالاستناد إلى التوصيات الموجودة في وثيقة البروتوكول 802.11e [11].

الجدول(3): القيم المُستخدمة في المحاكاة من أجلِ بارامترات المُنافسة الخاصة بطرقِ النفاذ

EDCA	AIFS	CWmin	CWmax	TXOP length
AC_VO	2	31	63	3.264 ms
AC_VI	2	63	127	6.016 ms
AC_BE	3	127	1023	0
AC_BK	7	127	1023	0
DCF	2	15	1023	0

-تتنقل الواجهة اللاسلكية للعقد أثناء المحاكاة بينَ أربعِ حالاتٍ (إرسال، استقبال، خمول، ونوم)، وهو ما يبينه الشكل (10)، حيثُ أنَّ لكل من هذه الحالات استهلاك طاقة مختلف، وقد أسندت إليها القيم المبوبة في الجدول (4) [12].



الشكل (10): نموذج العملية لوحدة Wlan_energy

[5] **يجب مراعاة القواعد عند إعداد قيم نوافذ المنافسة الصغرى والعظمى، وقد تمّت الإشارة إلى هذه القواعد في الفقرة (1-2)**

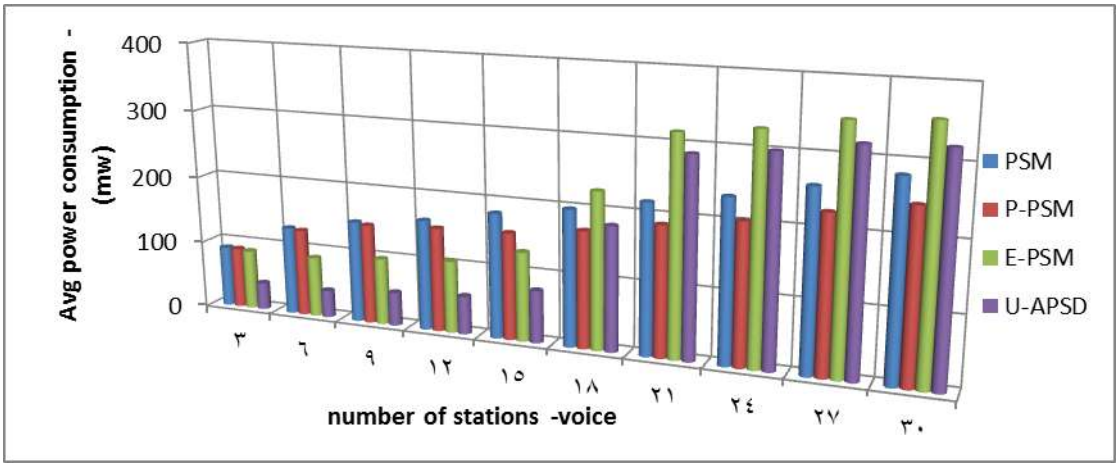
الجدول (4): القيم المُثلى لاستهلاك الطاقة في الواجهة اللاسلكية WLAN

نوم	خمول	استقبال	إرسال	الحالة
20	390	1500	2000	استهلاك الطاقة(MW)

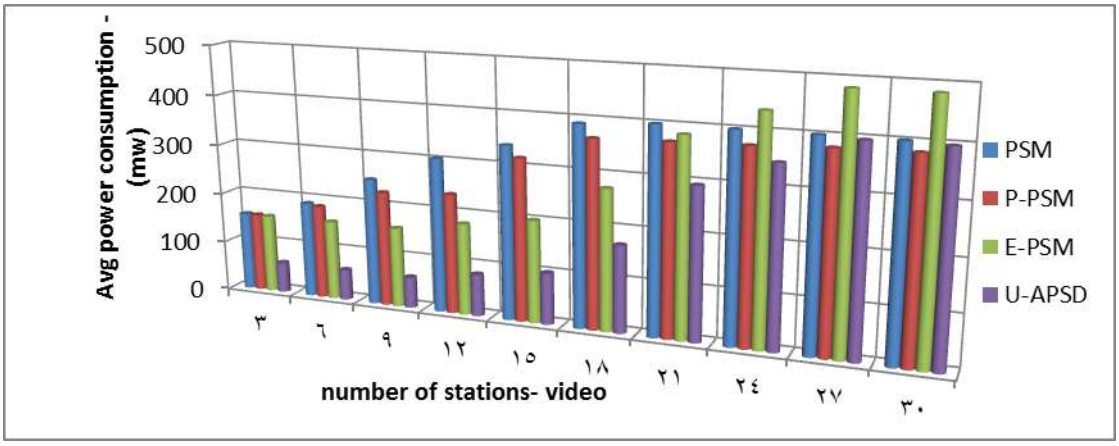
النتائج و المناقشة

1-استهلاك الطاقة (Power Consumption):

يتم قياس استهلاك الطّاقة عن طريق قياس الزّمن الذّي تقضيه العقدة اللاسلكية في كل من الحالات الأربع (إرسال، استقبال، خمول، نوم)، وذلكَ خلال مدّةِ المُحاكاة [6]، بحيث أنَّ النسبة المئوية من ذلكَ الزَّمن (للحالاتِ الأربع)- فيما يتعلق بزمنِ المحاكاة – مضروباً بقيمةِ استهلاكِ الطّاقة الموافق للحالة، يُعطي مقدار الاستهلاك الذّي تختبرهُ العقدة خلال استخدامها للواجهة اللاسلكية. إنَّ الحصول على متوسط استهلاك الطّاقة على مستوى العقد التّي تنتمي إلى ذاتِ الصّنف، يتم بواسطة حساب متوسط قيم الاستهلاك لتلكَ العقد، علماً بأن النتائج تم الحصول عليها من خلال إعادة تنفيذ كل سيناريو عدّة مرات مع Seeds مختلفة. نناقش النتائج وفقاً للشكل (11) والشكل(12):



الشكل (11): متوسط استهلاك الطّاقة لعقد الصوت



الشكل (12): متوسط استهلاك الطاقة لعقد الفيديو

[6] **مدة المحاكاة 150 sec**

– الشبكة غير مزدحمة، نجد أنَّ التقنية U–APSD تقدّم متوسطاً للطّاقة المُستهلكة من قبل النظام الفرعي المضمّن Wi–Fi أقل ممّا تنتجهُ باقي التقنيات، وذلكَ بالنسبةِ لتطبيقي الصّوت(حتّى 15عقدة) والفيديو (حتّى 24 عقدة)[7] على حدٍ سواء، حيثُ يمكن تفسير هذهِ النتيجة تبعاً للأسبابِ الرئيسية التّالية:

1– تكلفة التأشير: تحتاج باقي التقنيات لتوليد إطار PS–POLL من أجل استرداد كل رزمة مخزّنة لدى نقطة الوصول، في حين أنَّ التقنية U–APSD تعتمد مفهوم فترة الخدمة (تكلفة تأشير منخفضة بالمقارنة مع التقنيات الأخرى).

2– احتمالية التصادم: إنَّ العقد اللاسلكية المُستخدِمة لتقنيات إدارة الطّاقة الأخرى تحاول النفاذ للوسط مباشرةً بعد استقبالِها لإطار الإرشاد (متزامنة). أمّا مع التّقنية U–APSD، فإنّ إطارات استرداد البيانات بالرّغم من دوريتها إلاّ أنّها تُرسل في لحظاتٍ زمنيةٍ مختلفة بين العقد، مؤدياً ذلك إلى مُنافسةٍ أقل للنفاذ إلى القناة (تصادم أقل).

3– أولوية النفاذ: تلعب أولوية الإرسال المُنخفضة لإطارات PS–POLL مع التقنيات stdPSM، E–PSM، و P–PSM، دوراً هاماً في بقاءِ المحطاتِ منتظرةً طويلاً في حالةِ الخمولِ ريثما تحصل على نفاذٍ للقناة، بينما مع التقنية U–APSD تتمتع إطارات التأشير بأولوياتٍ مختلفة تبعاً للتطبيقاتِ المُرسِلة لها.

– مع شبكةٍ مزدحمة[8]، نُلاحظ تراجعاً في أداءِ التقنية U–APSD، والتّي تفوقت في حالاتِ الحمل المُنخفض والمُتوسط (شبكة غير مزدحمة بشدة)، في مقابل ذلك تُحقّق التقنية المُقترحة في هذا البحث P–PSM أداءً متميزاً يتفوق من حيث كفاءة الطاقة على ما تقدّمهُ البقية، وذلكَ مع تطبيقي الصّوت والفيديو (تُلاحظ هذهِ النتيجة مع تجاوز عدد عُقد الصّوت والفيديو 15 عُقدة و 24 عُقدة على التّوالي). يعود تفوق التقنية P–PSM إلى احتماليةِ التصادم الأعلى الموجودة لدى كل من التقنية U–APSD، و E–PSM، وذلكَ نتيجةَ الأولوية العالية المُستخدمة لكل من تطبيقي الصّوت والفيديو، وبإعداداتِ مُنافسة ذاتِ قيمٍ مُنخفضة بالمُقارنة مع تلكَ الممنوحة من قبل التقنية P–PSM لذاتِ التطبيقين (في ظلِّ الازدحام كلمّا انخفضت قيم بارامترات المُنافسة، ازدادت احتمالية التصادم).

نناقش ببعض التفصيل سلوك التقنيات المحّسنة لنمط حفظ الطاقة القياسي stdPSM(P–PSM, E–PSM) ذات التراتبية المبينة في الجدول(5)، وذلك لضرورة تتبع أداء التقنية المقترحة في هذا البحث:

الجدول(5): ترتيب تقنيات إدارة الطّاقة وفقاً لكفاءةِ الطاقة (من الأكثر إلى الأقل) مع ازدياد عدد العقد اللاسلكية

فيديو		صوت	
>21	<18	>15	<15
P–PSM	E–PSM	P–PSM	E–PSM
stdPSM	P–PSM	stdPSM	P–PSM
E–PSM	stdPSM	E–PSM	stdPSM

–في حالة شبكة غير مزدحمة، تُظهر تقنية إدارة الطّاقة E–PSM كفاءةً أعلى عندَ مقارنتِها مع كل من التقنيتين stdPSM وP–PSM، وذلكَ بالنسبةِ لكل من عقدِ الصّوت(حتّى 15 عُقدة) والفيديو(حتّى 18عُقدة)، في حين تليها التقنية المُقترحة P–PSM من حيث متوسط استهلاك الطاقة، أمّا نمط حفظ الطّاقة القياسي stdPSM فقد حقّقَ

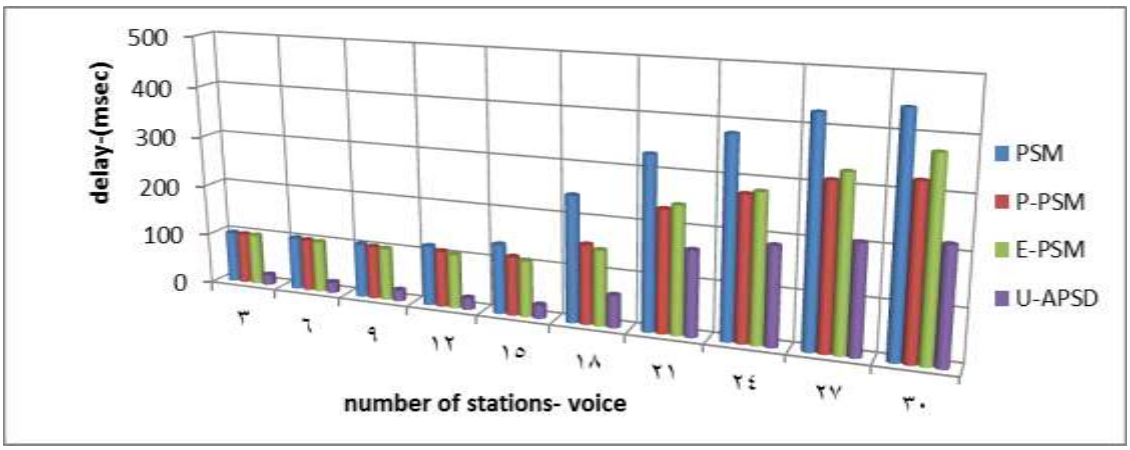
[7] إنّ اختلاف العقد الحدية لتطبيقي الصوت و الفيديو، مرده إلى نموذج حركة المعطيات.
[8] يُستدل على الازدحام بملاحظة حدوث تغيرات في سلوك التقنية المدروسة.

الأداء الأسوأ. يمكن تفسير هذا السّلوك بأنّهُ مع شبكةٍ غير مزدحمة بشدة، تكون التصادمات قليلة، ولن تحتاجَ العُقد اللاسلكية للقيامِ بعملياتِ "تراجع" back off، وعليهِ لن تظهرَ الفائدة من آليةِ التفضيل التّي تستخدمُها التقنية P–PSM لتطبيقاتِ الزّمن الحقيقي، والتّي تعتمد أساساً على مجالينِ لنافذةِ المُنافسة CW يُزودانِ تدفقاتِ البيانات بالأولويات. على هذا الأساس ستبرز التقنية E–PSM كتقنيةٍ تحفظ طاقةً أكثر بسببِ آليةِ التفضيل التّي تشكل المسافة الزّمنية بين الإطارات (IFS) أحدَ أركانِها، بحيث تؤدي لإرسالٍ واستقبالٍ أسرع لبياناتِ تطبيقاتِ الزّمن الحقيقي (تُعطى قيمة مُنخفضة لأجلها)، ممّا يعني استهلاكَ طاقةٍ أقل من قبل الواجهة اللاسلكية.

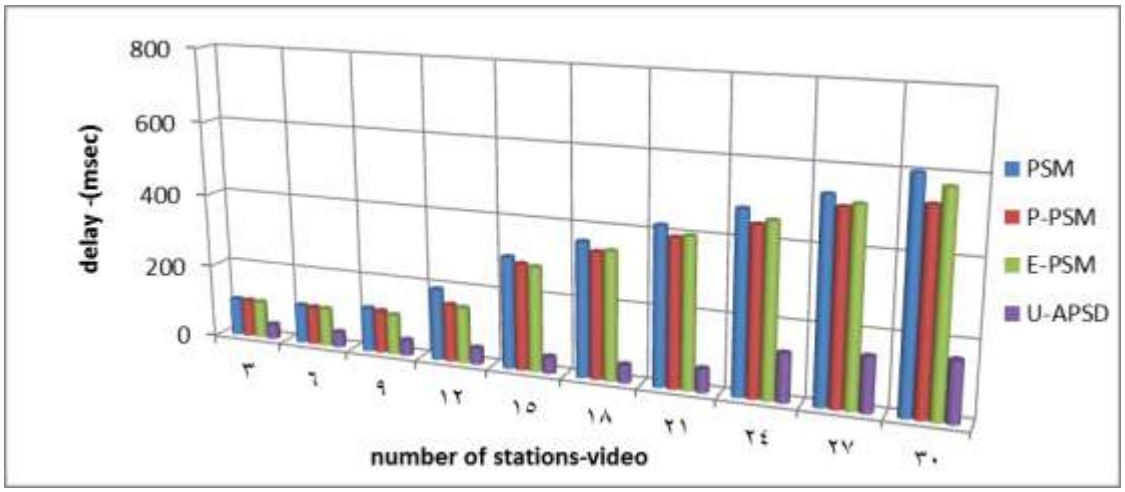
– مع شبكة مزدحمة، تُظهر تقنية إدارة الطّاقة E–PSM أداءً سيئاً، حيثُ تستهلك العُقد المُستخدِمة لها سواء أكانت صوت أو فيديو طاقةً أكثر من تلكَ التّي تعتمد على أي من التقنيتين stdPSM و P–PSM، في مقابل ذلك تحقّق التقنية المقترحة P–PSM أداءً متميزاً يتفوق على التقنيتين الأُخريين. يمكن تفسير السّلوك السّابق بأنّهُ في ظلِّ تزامن إرسال إطارات التأشير لاستردادِ البياناتِ المخزّنة، فإنَّ استخدام بارامترات المُنافسة ذات القيم المُنخفضة CWmin[AC] ، CWmax[AC]، AIFS[AC] ، والتّي تتمتع بِها تطبيقات الزّمن الحقيقي، مانحةً إيّاها أولويةً أعلى من تطبيقاتِ "أفضل جهد" (غير الحسّاسة للتأخير) لها مفعول سلبي على حفظِ الطّاقة المقدّم من قبل التقنية E–PSM، لاعتبارِها تزيد من احتماليةِ التصادم، ممّا يعني قضاء تلكَ العُقد وقتاً أطول مُنتظرةً النفاذ للوسط اللاسلكي، بسببِ عمليةِ المُنافسة (مستهلكةً طاقةَ "حالة الخمول")، وبطبيعة الحال عندما يُصبح هذا الزّمن أكبر من زمن الوصول البيني لإطاراتِ البيانات إلى نقطةِ الوصول، فإنّ تلكَ العُقد لن تذهبَ للنوم باعتبار أنَّ more data bit الموجود في إطاراتِ البياناتِ المُرسلة من قبلِ نُقطةِ الوصول إلى عُقدِ حفظِ الطّاقة سيبقى مفعّلاً، نظراً لوجودِ بياناتٍ مخزّنةٍ مؤقتاً باستمرار. على خلافِ التقنية P–PSM، التّي تمتلك بارامترات مُنافسة ذات قيم مرتفعة مُقارنةً مع التقنية E–PSM، وهذا ينعكس إيجاباً على استهلاكِ الطّاقة، نتيجةً لانخفاضِ احتماليةِ التصادم، كما تلعب الزيادة الخطية لنافذةِ المُنافسة بعدَ التصادم دوراً في تخفيضِ استهلاك الطّاقة.

2–تأخير الإرسال (Transmission Delay):

يتم قياس تأخير إرسال رزمة البيانات من خلالِ حسابِ الفرق بين زمن وصول تلك الرّزمة الطبقة MAC قادمةً من الطبقة الأعلى، وزمن وصولِها للمحطة الهدف. نناقش النتائج وفقاً للشكل(13) و الشكل(14):



الشكل (13): تأخير الإرسال مع ازدياد عدد عقد الصّوت



الشكل(14): تأخير الإرسال مع ازدياد عدد عقد الفيديو

–مع شبكة غير مزدحمة، فإنَّ عقد الصوت والفيديو التّي تستخدم تقنية إدارة الطاقة U–APSD ستعاني من تأخيرِ إرسالٍ لرزم البيانات الموجهة إليها من نقطة الوصول أقل بكثير من باقي العقد التّي تحفظ الطّاقة بواسطة تقنياتٍ أخرى، وذلك نتيجةَ استخدامِ تلكَ العُقد لإطاراتِ QoS–Null، التّي تقوم بتحفيزِ نقطةِ الوصول لإرسال البيانات المخزّنة مؤقتاً، وقد تمَّ إعداد إطارات التحفيز هذه كي تُرسلَ بشكلٍ دوري كل 20 msec لأجلِ عُقد الصّوت، وكل 40 msec لأجلِ عُقدِ الفيديو [9]، وذلكَ في سبيلِ تلبيةِ متطلباتِ جودةِ الخدمة التّي تحتاجها بيانات الصّوت والفيديو ، بينما مع التقنيات الأخرى فإنَّ أدنى تأخيرٍ يمكن للعقد اختباره هو 100msec، بسبب أنَّ الإطارات المخزنة لدى نقطة الوصول تُرسل كل فترة "إرشاد" Beacon Interval، والتّي تمَّ إعدادها لتأخذ القيمة 100msec(افتراضياً). مع ازدياد عدد العقد في الشبكة اللاسلكية وازدحامها، كذلك الأمر تُحافظ عُقد الصوت والفيديو التّي تستخدم التقنية U–APSD على تأخير الإرسال الأقل، إلاّ أنَّ تأخير الترتيل الذّي تعاني منه رزم البيانات في رتلِ إرسالِ نقطة الوصول سيزداد، لينعكس بدورهِ زيادةً في تأخيرِ الإرسال، وذلك عمّا كان عليه قبل الازدحام الشبكي.

نناقش بشكلٍ منفصل أداء التقنيات المحّسنة لنمط حفظ الطاقة القياسي stdPSM التّي يبوبها الجدول (6)، بهدف تقصي سلوك التقنية المقترحة P–PSM:

الجدول(6): ترتيب تقنيات إدارة الطّاقة وفقاً لتأخيرِ الإرسال (من الأقل إلى الأكثر) مع ازدياد عدد العقد اللاسلكية

فيديو		صوت	
>18	<18	>18	<18
P–PSM	E–PSM	P–PSM	E–PSM
E–PSM	P–PSM	E–PSM	P–PSM
stdPSM	stdPSM	stdPSM	stdPSM

– في ظلِّ شبكة غير مزدحمة بشدة، تعاني عقد الصّوت والفيديو التّي تستخدم التقنية E– PSM من تأخير الإرسال الأقل، متفوقةً على كل من تقنيتي إدارة الطاقة std PSM و P–PSM، بسبب أنَّ طريقة النفاذ للوسط

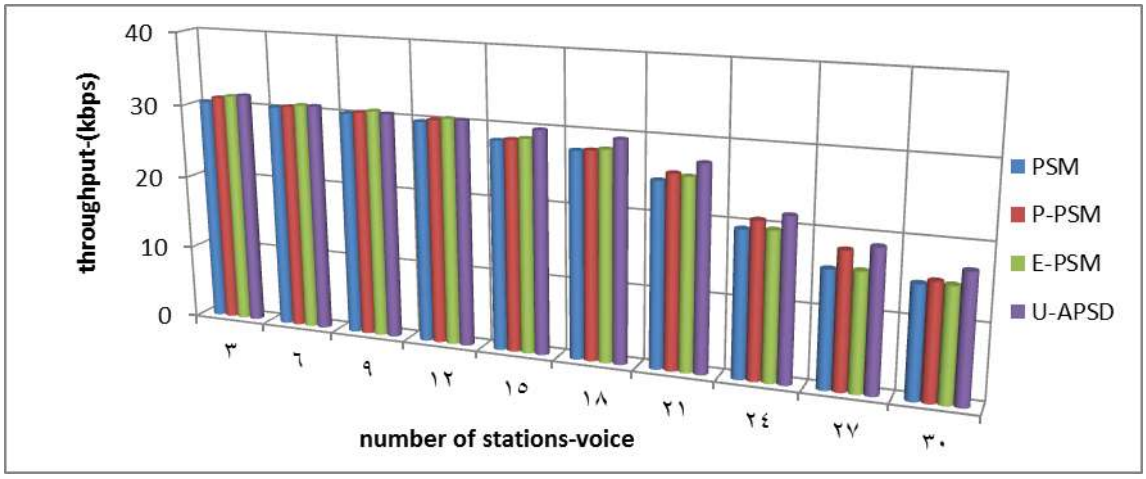
[9] **إنَّ اختيار الفواصل الزمنية لتوليد إطارات التحفيز الدورية لكل من تطبيقي الصوت و الفيديو يعتمد على المرمزات المستخدمة (codecs)**

EDCA المستخدمة من قبل E–PSM تُعطي لإطارات الصوت والفيديو أولويةً عليا لكن غير متساوية، حيثُ يتقدّم الصّوت في الأولوية على الفيديو عن طريق استخدامه لبارامترات مُنافسة أصغر قيمةً من تلك المخصّصة لكل من الفيديو وتطبيقاتِ البيانات غير الحسّاسة لمعايير جودة الخدمة على حدٍ سواء. بينما مع التقنية P–PSM، يمتلك كل من تطبيقي الصّوت والفيديو أولويةً متساوية لكن أعلى من تلك المُعطاة لتطبيقات "أفضل جهد"، وهذا ما يؤثر على إطارات الصّوت والفيديو التّي ستدخل منافسةً مع بعضها البعض، ممّا يزيد من زمن النفاذ للوسط. في مقابل ذلك تنفرد إطارات الصّوت والفيديو مع التقنية E–PSM بنفاذٍ سريعٍ للوسط اللاسلكي، وعليهِ ستكون عملية استرداد البيانات المخزّنة أسرع، ممّا يعني تأخيرَ إرسالٍ أقل.

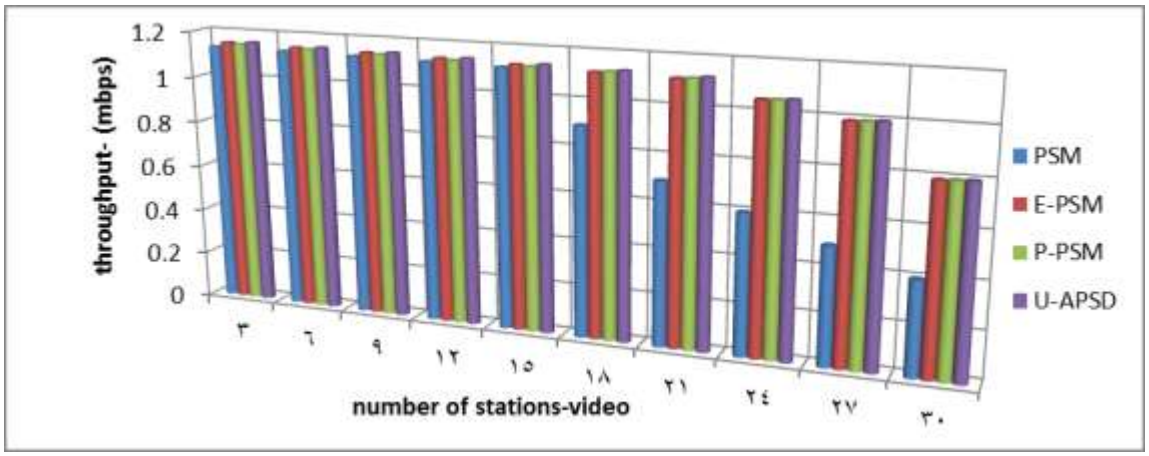
– مع ازدياد عدد العقد اللاسلكية في الشبكة، وفي ظل تزامن إرسال إطارات التأشير من قبلِ العُقد في كل من التقنيات E–PSM, std PSM وP–PSM، وذلك لاستردادِ البياناتِ المخزّنة في نقطةِ الوصول، فإنَّ هذا يؤدي إلى زيادة احتمالية التصادم، ممّا يؤثر سلبياً على أداء التقنيات المذكورة من ناحيةِ تأخيرِ الإرسال، إلى جانب هذا العامل ستؤثر بارامترات المُنافسة ذات القيم الصّغرى التّي تخصّص لإطاراتِ الصّوت والفيديو مع التقنية E– PSM بشكلٍ عكسي على معيار جودةِ الخدمة، حيثُ تزداد احتمالية التصادم، ممّا ينجم عن ذلك زيادة في طولِ رتلِ نقطةِ الوصول، نتيجةَ عدمِ استردادِ إطاراتِ البيانات المخزّنة بالسّرعةِ الكافية من قبلِ العُقد اللاسلكية. بالنتيجة نجد بأنَّ عُقدَ الصّوت والفيديو التّي تعتمد تقنية E–PSM لحفظِ الطّاقة، ستعاني من تأخيرَ إرسالٍ أعلى من ما هو عليه مع التقنية P–PSM، بسبب أنَّ الأخيرة تَملِك احتمالية تصادم أقل وزيادةً خطية بدلاً من الأُسية في زمن الانتظار الذّي تفرضه عملية المنافسة، ممّا ينعكس إيجاباً على تأخير الإرسال لرزم البيانات المتدفقة من نقطة الوصول باتجاه العقد اللاسلكية.

3– المردود(throughput):

يُحسب المردود عن طريقِ قياس عدد الرّزم المُستقبلة بنجاحٍ في المحطة الهدف، وتقسيمِها على زمنِ المحاكاة للحصولِ على معدّلِ البيانات . إنَّ المردود مقاساً في الاتجاه downlink(كما تأخير الإرسال) أي من نقطة الوصول إلى العقدة اللاسلكية، وكما هو موضح في الشكل (15) و الشكل (16)، يتناقص مع ازدياد تأخير الإرسال الموضّح في الشكلين (13) و (14)، وذلك في جميع تقنيات إدارة الطّاقة المدروسة.



الشكل (15): المردود مع ازدياد عدد عقد الصّوت



الشكل (16): المردود مع ازدياد عدد عقد الفيديو

إنّ تأخير الإرسال والمردود متناسبان عكساً، وهذا يقتضي بأنّ تراتبية تقنيات إدارة الطاقة فيما يخص المردود سيشابه تلك التّي تمّ الحصول عليها لدى دراسة معيار الأداء "تأخير الإرسال" (من الأكثر كفاءة إلى الأقل)، حيث أنّ التقنية U–APSD التّي اختبرت تأخير الإرسال الأقل، ستحقق المردود الأعلى، غير أنَّ التراجع في مردودها كماً مع ازدياد عدد العقد اللاسلكية، بالرّغم من حفاظها على المردود الأعلى يعود إلى إسقاط بعض الرّزم الواصلة من الطبقات العليا، ويمكن إسناد إسقاط الرّزم (عدم إرسالها) إلى أحدِ أمرين، إمّا نتيجةَ بلوغ حد إعادة الإرسال بسببِ التصادماتِ المتكررة، أو طفحان ذاكرة التخزين المؤقت في نقطةِ الوصول (يحدث هذا عندما يُصبح زمن الانتظار الناتج عن عمليةِ المُنافسة أكبر من زمنِ الوصول البيني للإطارات إلى نقطةِ الوصول).

الاستنتاجات و التوصيات

بالاستناد إلى نتائج المُقارنة المُتعلقة بتقنيات إدارة الطّاقة يمكن استنتاج الآتي:

1– قدّمت التقنية U–APSD الأداء الأفضل من حيث كفاءة الطاقة ومعايير جودة الخدمة المدروسة، وذلكَ في حالاتِ الحمل الخفيف و المتوسط (شبكة غير مزدحمة). أمّا في حالةِ الازدحام الشبكي، نجد أنَّ التقنية المقترحة في هذا البحث P–PSM استطاعت أن تُنجزَ تفوقاً من حيث كفاءة الطاقة على التقنيات الأُخرى، غيرَ أنّها لم تتمكن من تحقيقِ الأمرِ ذاته بالنسبةِ للمعاييرِ المدروسة المتعلقة بجودةِ الخدمة(تأخير الإرسال، المردود)، حيثُ تمكنت التقنية U–APSD من إنجازِ الأداء الأفضل.

2– بالنسبة للتّقنيات المحسّنة لأداء std PSM (E–PSM & P–PSM)، والتّي استخدمت طرقَ نفاذٍ للوسط تدعم معايير جودة الخدمة، فقد استطاعت أن تُنجز مع تطبيقات الصّوت والفيديو مردود طاقة وجودةَ خدمةٍ أعلى من التقنية القياسية stdPSM، وذلك يعود إلى آليات التفضيل المُستخدمة لإعطاء التطبيقات الحسّاسة لمعايير جودة الخدمة أولويةً أعلى، غير أنّ ازدحام الشبكة وكما أظهرت النتائج قد أثّرَ وبشكلٍ خاص على تقنيات إدارة الطّاقة التّي أبدت بارامترات مُنافسة صارمة (ذات قيم مُنخفضة) فيما يخص تطبيقات الزّمن الحقيقي(E–PSM) حيثُ شَهِدت تراجعاً في الأداء فاقَ ذاك الذّي اختبرتهُ التقنيات ذات آليات التفضيل الأقل تشدداً (P–PSM).

وفقاً للاستنتاجات يقترح البحث التوصيات التّالية:

1–بما أنَّ معيار الأداء (استهلاك الطّاقة) قد تمّت دراسته تبعاً لعدد العقد اللاسلكية المتواجدة في الشبكة، يمكن أن يُوصى باستخدام التقنية U–APSD كتقنيةٍ لإدارة الطّاقة في حالات الحمل الخفيف والمتوسط، لكن في حالات

الازدحام فيُوصى باستخدام التقّنية المقترحة في هذا البحث P–PSM، والتّي كانت دمجاً للتّقنية القياسية stdPSM، مع مخطط نفاذٍ جديد يعتمد على الأولوية Priority، حيثُ أعطت نتائج جيدة أثناء الازدحام الشبكي متفوقةً من حيث كفاءة الطاقة على جميع التقنيات الأُخرى .

2– مع معياري الأداء (تأخير الإرسال والمردود)، يُنصح باستخدام التقنية U–APSD، لكن إن كانت كفاءة الطاقة مهمّة للمُستخدم أكثر من جودة الخدمة فيُوصى باستخدام التقنية P–PSM وبشكلٍ خاص في حالة الازدحام الشبكي، حيثُ أنّها تحقق الكفاءة الأعلى من حيث استهلاك الطاقة، وثاني أفضل أداء فيما يتعلق بمعاييرِ جودةِ الخدمة.

المراجع:

[1] SHIBU,A.V .*Introduction to embedded systems*.1st.ed., TataMcGraw-Hill, NewDelhi, 2009,716.

[2] HELGASON,R.; YAVUZ,E.; KOUYOUMDJIEVA,S.; PAJEVIC,L.; KARLSSON,G. *A mobile peer to-peer system for opportunistic content-centric networking*. In Proceedings of the second ACM SIGCOMM workshop on Networking, systems, and applications on mobile handhelds(MobiHeld' 10), NewYork, USA, 2010, 21-26.

[3] CHOI,S.;DEL PRADO,J.; MANGOLD,S.;SAI SHANKAR,N . *IEEE 802.11e Contention-Based Channel Access (EDCF) Performance Evaluation* . IEEE International Conferenceon Communications (ICC), Anchorage, AK, Vol.2, 2003, 1151-1156.

[4] HIETRZ,G.R.;KLEIN,O.;WALKE,B.;CHOI,S.;MANGOLD,S. *Analysis of IEEE 802.11e for QoS support in wireless LANs*. IEEE Wireless communication, Vol.10, Dec.2003, 40-50.

[5] IEEE 802.11 WG, *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications*, IEEE Standard 802.11-2007, June 2007.

[6] MISHRA,M.; SAHOO,A**.** *A Contention Window Based Differentiation Mechanism for providing QoS in Wireless LANs*. in the 9thIEEE international conference on information technology(ICIT), Bhubaneswar, Dec. 2006, 72-76.

[7] Bharadwaj,A. *Managing Wi-Fi Energy In Smartphones by Throttling Network Packets*(Master Thesis). Simon Fraser University, Faculty of Applied Sciences. April 2014, 55.

[8] GONZALEZ,F.V. *Energy-efficient enhancements for IEEE 802.11 WLANs* **(**Degree project in Communication Systems, Second level**).** School of Information and Communication Technology (ICT), Stockholm, Sweden, Feb.2014,119.

[9] PEREZ-COSTA,X.; CAMPS-MUR,D. *Analysis of the Integration of IEEE 802.11e Capabilities in Battery Limited Mobile Devices* **.**In proceedings of IEEE International Conference on Communications(ICC). Vol.12, Dec. 2005, 26-32.

[10] OPNET Technologies, Inc., available: http://www.opnet.com [accessed in December 2014] .

[11] IEEE 802.11 WG, *Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. Amendment8: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements*, IEEE Standard 802.11e, November 2005.

[12] Broadcom 4311AG 802.11a/b/g, available: http://www.broadcom.com [accessed in December 2014]