مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد 42 العدد 2 (2026): 92- 107

Damascus University Journal of Engineering Sceinces
Vo 42 No2. (2023): 92 - 107

تقدير أداء خوارزميات الجدولة (DRR و Modified EDF) في شبكات الواي ماكس WiMAX

فاطمة عمر [1*]

[1*]. عضو هيئة فنية (قائم بالأعمال) جامعة دمشق، مهندسة، هندسة الإلكترونيات والاتصالات
fatima.omar@damascusuniversity.edu.sy

الملخص:

تعتمد تقنيات جيل الاتصالات اللاسلكية في أدائها على عملية الجدولة التي تقوم بتخصيص موارد النظام وتوزيعها بين المشتركين بشكل يحقق معدل تدفق عالي ويضمن جودة الخدمة المطلوبة من المشتركين. لم يحدد المعيار المعرف لهذه الشبكات أسس ومبادئ هذه العملية وإنما تركت مفتوحة للمستخدمين والمطورين. وضعت العديد من الخوارزميات التي تستخدم في عملية الجدولة وقد اخترنا في هذه المقالة اثنتان من هذه الخوارزميات. تهدف المقالة إلى دراسة عملية الجدولة في شبكات الواي ماكسWiMAX وعلى وجه الخصوص دراسة خوارزميات DRR وModified EDF ومحاكاتها باستخدام برمجية Matlab. ودراسة أدائها من حيث التأخير ومعدل التدفق، والعمل على تحسين الأداء وذلك بوساطة استخدام خوارزمية بسيطة للتحكم بقبول الاتصال CAC.

الكلمات المفتاحية: WiMAX: النفاذ الميكروي التشغيلي البيني عبر العالم، DRR: خوارزمية جولة روبن مع عداد العجز، Modified EDF: خوارزمية الأسبق زمناً أولاً المعدّلة، CAC: التحكم بقبول الاتصال.

تاريخ الإيداع: 2023/7/23
تاريخ القبول: 2023/10/11

حقوق النشر: جامعة دمشق –سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب CC BY-NC-SA

http://journal.damascusuniversity.edu.sy/index.php/index/index

ISSN (online): 2789-6854

Damascus University Journal of Engineering Sceinces
Vo 42 No2. (2023): 92 - 107

مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد 42 العدد 2 (2026): 92- 107

Performance Evaluation of Scheduling Algorithms (DRR and Modified EDF) In WiMAX Networks

Fatima Omar*[1]

*[1].Technical Staff Member (Acting) Damascus University; Engineer, Electronics and Communications Engineering.
fatima.omar@damascusuniversity.edu.sy

Received: 23/7/2023
Accepted: 11/10/2023

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

Abstract:

Communications wireless technologies depend on the performance of scheduling operation which is important for bandwidth allocation and distribution between subscribers to achieve high throughput and meet quality-of-service commitments.

In this paper we review the scheduling operation in wimax network، where did not have standard scheduling operation and let it free. There are many scheduling algorithm، and we focus on DRR and Modified EDF.

Scheduling algorithms، we study them performance in terms of throughput and delay. We also try to improve performance by using call admission control algorithm with DRR and Modified EDF.

Key words: Wimax: Worldwide interoperability microwave access، DRR: deficit round robin, Modified EDF: modified earliest deadline first Output، CAC: Call Admission Control، QoS: quality of service.

ISSN (online): 2789-6854

المقدمة:

تعد شبكات الواي ماكس WiMAX الحل الأفضل للإرسال اللاسلكي عريض المجال وذلك لما تمتلك من ميزات جعلتها بديلاً جيداً لنقل الصوت والمعطيات. ومن أهم ما تتميز فيه هو معدل المعطيات العالي وجودة الخدمة (Qos) والحركية والأمن والمرونة. تعد عملية الجدولة جزءاً أساسياً لأنظمة الاتصالات وذلك كونها المسئولة عن التشارك بعرض المجال بين مشتركي النظام. إذاً جدولة الرزم هي عملية حل النزاع على الموارد المشتركة في الشبكة، وتتضمن هذه العملية تخصيص عرض مجال لكل مستخدم وتحديد دوره بالإرسال. تُحدِّد خوارزميات الجدولة تبعاً لمستخدمي الشبكة ومتطلبات جودة الخدمة لهم والتي تختلف حسب التطبيق. ففي تطبيقات الزمن الحقيقي كمؤتمرات الفيديو والدردشات الصوتية يكون عامل التأخير من أهم متطلبات جودة الخدمة. ومن ناحية أخرى، في التطبيقات التي لا تتطلب زمن حقيقي مثل عملية إرسال الملفات يكون معدل التدفق هو الأهم من بين متطلبات جودة الخدمة. هناك أيضاً بعض التطبيقات التي ليس لديها متطلبات لجودة الخدمة مثل مستعرضات الويب وخدمة البريد الالكتروني.

بشكل عام تحتوي كل شبكة على عدة أنواع للتطبيقات وبالتالي يكون هناك متطلبات متنوعة لجودة الخدمة. وضعت العديد من الخوارزميات لجدولة مختلف أنواع الشبكات، ولكن لم يوضع أي معيار لتعريف عملية الجدولة في شبكات الواي ماكس وإنما تركت مفتوحة للمطورين والباحثين، وهناك العديد من الأبحاث التي تناولت عملية الجدولة وخوارزمياتها. فعلى سبيل المثال قام Mohammad Al-Aboodi في العام 2021 بتطوير خوارزمية تجمع بين عدة خوارزميات للجدولة ومن خلال هذه الخوارزمية يتم التحكم وتحديد خوارزمية الجدولة الأنسب حسب متطلبات جودة الخدمة للمشترك، واستطاع من خلال هذه الخوارزمية تحقيق أداء عالي بالنسبة لمعدل الدفق.

وفي العام 2019 قام الباحث Zeeshan Ahmed وآخرون باقتراح خوارزمية لتخصيص موارد عرض المجال للوصلة الصاعدة لتحسين جودة الخدمة للمشتركين هذه الخوارزمية تقوم بتخصيص الموارد على مرحلتين: في المرحلة الأولى يتم توزيع عرض المجال تبعاً لأصناف جودة الخدمة المختلفة، وفي المرحلة الثانية يتم تخصيص عرض المجال للمشترك حسب صنف جودة الخدمة الذي يتبع له. تمكنت هذه الخوارزمية من ضمان جودة الخدمة لجميع فئات مرور البيانات ضمن شبكات Wimax. وفي العام 2022 قام الباحث SHAHRAM KHOSHNAVAZ بالعمل على تحسين جودة الخدمة وتحقيق الإنصاف في توزيع عرض المجال في شبكات Wimax من خلال اعتماد مبدأ تخصيص عرض المجال الديناميكي واستخدم لذلك ثلاث خوارزميات وهي FIFO WFQ+ EDF+ ومن النتائج التي حصل عليها وجد تحسناً في معاملات فقد الرزم والتأخير.

ونحن من خلال بحثنا سنعمل على تحسين معاملات التأخير ومعدل التدفق لخوارزميات DRR وMEDF من خلال عملية التحكم بقبول الاتصال.

1- لمحة عن شبكات الواي ماكس WiMAX:

تطورت شبكات الاتصال اللاسلكية بشكل سريع في السنوات الأخيرة الماضية. إن عدداً من التقنيات الموجودة حالياً تزوَد المشتركين باتصالات لاسلكية رقمية عالية السرعة، ومنها أنظمة الجيل الرابع 4G. ومن التقنيات الأساسية في أنظمة الجيل الرابع، تقنية WiMAX والتي تقدم نقلاً لاسلكياً للبيانات لمسافات بعيدة بطرق متنوعة. وصَفت شبكات الواي ماكس بالمعيار IEEE802.16 الذي وضع عام 2004 وطوَر ليصبح

http://journal.damascusuniversity.edu.sy/index.php/index/index
ISSN (online): 2789-6854

قادراً على دعم تطبيقات الاتصال دون وجود خط نظر NLOS. يخدُم هذا المعيار المشترك الثابت ضمن المجال الترددي 2 – (11GHz). وفي العام 2005 تم تعريف المعيار IEEE802.16e الذي أضاف ميزة الحركية للنفاذ اللاسلكي عند ترددات أقل من (6 GHz). قدم هذا المعيار عدة خيارات للطبقة الفيزيائية ولبنية طبقة التحكم بالوصول إلى الوسائط MAC ولغاية الآن عرف نظامين مختلفين:

يُعرف الأول بالنظام الثابت (fixed system) وهو معرَف بالمعيار IEEE 802.16-2004 وفيه تعتمد الطبقة الفيزيائية على نظام التجميع بتقسيم التردد المتعامد OFDM.

ويُعرف النظام الثاني بالنظام النقال (mobility system) ومعرَف بالمعيار IEEE 802.16e-2005 وتعتمد طبقته الفيزيائية على نظام النفاذ المتعدد بتقسيم التردد المتعامد OFDMA.

تصنف شبكات الاتصال اللاسلكية عريضة المجال ومن بينها شبكات WiMAX إلى نوعين:"

شبكات ذات قفزة واحدة تكون فيها محطة القاعدة هي المسؤولة عن صنع وتسليم القرار لكل عقد الشبكة كمحطات المشتركين مثلاً.

شبكات متعددة القفزات وفيها يكون الاتصال غير مباشر بين المشتركين ومحطة القاعدة، وبالتالي فإن هذا النوع من الشبكات يتطلب آلية للتبديل عند محطة المشترك من أجل تبادل المعلومات" (Ahmed et al)،2019، 2.

1-1- مزايا شبكات الواي ماكس WiMAX:

تمتلك شبكات الواي ماكس العديد من المزايا الجيدة، من أهم هذه المزايا:

الطبقة الفيزيائية المعتمدة على تقنية التجميع بتقسيم التردد المتعامد OFDM والتي تساعد على تخفيض التداخل الناتج عن تعدد المسارات وتمكّن الشبكة من العمل في ظروف NLOS (عدم وجود خط نظر).

معدلات البيانات العالية: وذلك نظراً لاستخدامها تقنية MIMO (تعدد المداخل والمخارج) وترميز وتعديل متقدم، حيث يمكن أن يصل معدل البيانات في الوصلة الهابطة إلى 63 Mbps لكل مقطع /sector/ وفي الوصلة الصاعدة يمكن أن يصل إلى 28 Mbps لكل مقطع في قناة عرض مجالها 10 MHz.

تدعم شبكات WiMAX طلب التكرار الآلي ARQ، حيث يتم الإعلام عن وصول جميع الرزم المرسلة للمستقبل، وتعد الرزم التي لا يتم الإعلام عنها ضائعة ويجب إعادة إرسالها. هذه الميزة تزيد من موثوقية الاتصالات.

مرونة في تخصيص الموارد لكل مشترك، حيث تقوم هذه الشبكات بتخصيص الموارد حسب الطلبات المقدمة من المشتركين.

تستخدم تقنيات متقدمة للهوائيات عند المرسل والمستقبل، وهذا بدوره يحسَن سعة النظام وكفاءة الطيف.

دعم جودة الخدمة: يقوم بناء طبقة التحكم بالوصول إلى الوسائط للمعيار IEEE 802.16 بالأساس على تقديم أفضل جودة.

المرونة: صممت هذه الشبكات لتعمل ضمن قنوات مختلفة تمتد من 1.25 MHz إلى 20 MHz وذلك استجابة للمتطلبات العالمية المتنوعة.

الأمن: تقدم هذه الشبكات درجة عالية من الأمن لنقل المعلومات، فهي تستخدم معيار متقدم للتشفير، وتمتلك سرية عالية، وبروتوكول لإدارة المفتاح.

دعم الحركية: تدعم شبكات mobile wimax الحركية، وهي تدعم مخططات تسليم مثلى تضمن تقديم خدمات في الزمن الحقيقي دون تناقص في جودة الخدمة.

1-2- بنية شبكات الواي ماكس WiMAX:

تقسم شبكة wimax إلى أربع مكونات أساسية:"

محطة القاعدة BS: وتضم الدارات الالكترونية الداخلية وبرج الشبكة، عملياً يمكنها أن تغطي لمسافة 10 كم. أي عقدة اتصال تكون ضمن منطقة التغطية يمكنها الاتصال بالانترنت.

محطات المشتركين subscriber (SS).

شبكة النفاذ للخدمة (ASN) والتي تؤمن الاتصال عبر الهواء، وتدعم عملية التسليم وإدارة الموارد وجودة الخدمة. كما تقوم بالتغليف والتوثيق باستخدام ما يسمى إدارة المفتاح العام (PKM).

شبكة توصيل الخدمة (CSN) وهي نقطة الاتصال بالإنترنت، وتقوم أيضاً بتخصيص عناوين IP وتزود خدمات الإقرار والتوثيق والمحاسبة.

يمكن لعدة محطات للقاعدة الاتصال فيما بينها بواسطة وصلات ميكروية عالية السرعة، وهذا يسمح لمشتركي الشبكة بالانتقال من محطة لأخرى. الوصلة بين محطة القاعدة ومحطة المشترك لها اتجاهين:

وصلة صاعدة وتكون من محطة المشترك باتجاه محطة القاعدة.

وصلة هابطة وتكون من محطة القاعدة باتجاه محطة المشترك.

تمتلك الشبكة طبقتين أساسيتين هما الطبقة الفيزيائية PHY، وطبقة التحكم بالوصول إلى الوسائط MAC.

الطبقة الفيزيائية لها ثلاث مميزات أساسية هي:

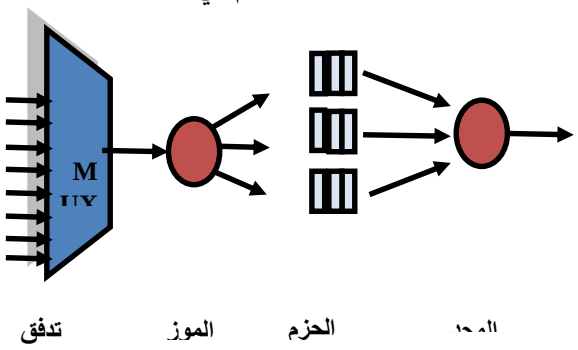
SC، OFDM، OFDMA .

بينما طبقة التحكم بالوصول الوسطى تنجز عدة ميزات متقدمة مثل التغليف والأمن وتصحيح الخطأ، تكييف الوصلة، التحكم بالاستطاعة، طلب التكرار الآلي وجودة الخدمة."Al-Aboodi ، 2021،(15)

2- عملية الجدولة:

عملية الجدولة هي المسؤولة عن تحديد الرزم التي سوف يتم إرسالها، وتكون مهمة خوارزمية الجدولة في هذا النوع من الشبكات تصنيف المستخدمين ضمن صفوف معرفة مسبقاً، حيث يعين لكل مستخدم أولوية بالاعتماد على متطلبات جودة الخدمة الخاصة فيه. وبالتالي يخصص عرض المجال وفقاً لأولويات المستخدمين.

يتم توزيع الرزم وتصنيفها ضمن أرتال بعد ذلك يقوم المجدول بتحديد الرزم التي سوف ترسل وهذه العملية موضحة بالشكل (1). تنفذ عملية الجدولة عند محطة القاعدة وعند محطة المشترك أيضاً، فجدولة الوصلة الصاعدة تتم في محطة القاعدة، وجدولة الوصلة الهابطة تتم في محطة المشترك.



الشكل (1) عملية الجدولة

2-1- عملية تخصيص عرض المجال:

تعدَ عملية تخصيص عرض المجال الأساس لعملية تزويد جودة الخدمة والتي تعتمد بشكل أساسي على نمط خدمة الجدولة المستخدمة. تتم عملية طلب ومنح عرض المجال كما يلي:

1. تحصل محطات المشتركين على فرصة لطلب عرض المجال بإحدى طريقتين:

تقوم محطة القاعدة بإرسال رسالة بث استعلام لكل محطات المشتركين وتصغي للمشتركين الذين يستجيبوا لهذه الرسائل.

يمكن لمحطات المشتركين استخدام فترة النزاع للوصلة الصاعدة من أجل التنافس على فرصة لطلب عرض المجال.

2. تستجيب محطة القاعدة لطلبات عرض المجال للمشتركين بإرسال رسالة الاستجابة لطلب عرض المجال.

3. بعدها تقوم محطات المشتركين بإرسال رسالة طلب عرض المجال والتي تحتوي على حجم طلب عرض المجال.

4. عند المصادقة تخصص محطة القاعدة الموارد المطلوبة لمحطات المشتركين وترسل رسالة منح عرض المجال.

2-2- أصناف جودة الخدمة المعرفة بالمعيار IEEE802.16:

يتضمن المعيار IEEE802.16 آلية لجودة الخدمة ضمن طبقة التحكم بالوصول إلى الوسائط. إن طبقة التحكم بالوصول إلى الوسائط مسؤولة أيضاً عن جدولة عرض المجال للمشتركين بالاعتماد على متطلباتهم وعلى متطلبات جودة الخدمة. صمم هذا المعيار ليدعم مجال واسع من التطبيقات. هذه التطبيقات تتطلب مستويات مختلفة لجودة الخدمة، من أجل ذلك عرف المعيار IEEE 802.16 خمسة أصناف لجودة الخدمة: "

خدمة المنح بالتزكية UGS: صممت لتدعم جريان معطيات الزمن الحقيقي والتي تتضمن رزم معطيات ثابتة الحجم ترسل ضمن فترات دورية. حيث يتم تخصيص عرض مجال ثابت ودوري للاتصال، ولا يستطيع المشترك من هذا الصنف أن يطلب عرض مجال إضافي ولكنه يستطيع طلب بدل عن عرض مجال مفقود. تقوم محطة القاعدة بقبول رزم المعطيات ثابتة الحجم ضمن فترات دورية. ومن الأمثلة عن هذه الخدمة حالة E1 و VOIP دون حذف الصمت.

خدمة استقصاء الزمن الحقيقي rtps: مصممة لدعم جريان معطيات الزمن الحقيقي والتي تتضمن رزم معطيات بأحجام متغيرة ترسل ضمن فترات دورية. وفيها يتم تخصيص فرص دورية لطلب عرض المجال لمحطات المشتركين، حيث يقوم المشترك ضمن هذه الفرص بتحديد كمية عرض المجال المطلوبة في كل مرة. ومن أمثلتها حالة إرسال الفيديو.

خدمة استقصاء الزمن الحقيقي الموسَعة ertps: وهي مناسبة لتطبيقات الزمن الحقيقي ذات معدل متغير، والتي يكون فيها تغير معدل المعطيات بسيط مع الزمن كحالة VOIP دون إلغاء الصمت. وفيها يُسمح للمشتركين بتغيير متطلبات عرض المجال في كل مرة. حيث يتم تخصيص فترات دورية كما في حالة UGS.

خدمة استقصاء الزمن غير الحقيقي nrtps: مصممة لدعم جريان المعطيات التي تسمح بالتأخير والمتضمنة رزم معطيات بأحجام متغيرة وبمعدل معطيات أصغري كحالة نقل FTP. وهي مشابهة لخدمة انتخاب الزمن الحقيقي حيث يتم منح فرص لطلب عرض المجال ولكن هنا فترات الطلب تكون أطول، كما يُسمح فيها للمحطات بأن تتنافس على هذه الفترات بعكس حالة استقصاء الزمن الحقيقي التي لا يُسمح فيها بالنزاع.

أقصى جهد BE: وهي مصممة لدعم جريان معطيات لا تتطلب أي ضمان للخدمة، كما في حالة نقل HTTP، وخدمة البريد الإلكتروني. محطة القاعدة ليس لديها أي التزام انتخاب لطلب الوصلة لمشتركي BE. لذلك يمكن أن تمر فترة طويلة دون إرسال أي رزمة من نوع BE." (Valencia،2009،16).

تتأثر بعض التطبيقات مثل نقل الصوت عبر الانترنت كثيراً بالتأخير، وبالمقابل تتطلب عرض مجال صغير، في حين تتطلب تطبيقات أخرى مثل نقل الفيديو عرض مجال كبير، لكنها مرنة أكثر بالنسبة للتأخير. تنظم متطلبات جودة الخدمة لتطبيق معين، كالتأخير الأعظم المسموح فيه ومعدل التدفق الأصغر المطلوب فيما يسمى محددات جودة الخدمة. يندرج كل تطبيق من التطبيقات تحت صنف جودة الخدمة الذي يدعم المحددات اللازمة لعمل هذا التطبيق بشكل صحيح، فمثلاً نقل الصوت الذي يتطلب تأخير ثابت يُدرج ضمن فئة UGS أو ertps (تتميز بأن متطلبات عرض المجال قابلة للتغيير مع الوقت، لذلك يمكن وضع قيمة عرض المجال المطلوب خلال فترة الصمت إلى الصفر). بينما خدمة البريد الإلكتروني التي لا تتطلّب عرض مجال محدد، أو تأخير معين يمكن إرسالها كخدمة من نوع BE. تعرَّف هذه المحددات كما يلي:"

معدل النقل الأعظمي المستمر MSTR:

ويعبر عن الحد الأعلى لمعدل المعطيات المسموح فيه للمشترك، ويقاس بعدد البتات بالثانية. يستخدم هذا المعامل للتحقق فيما إذا كان المشترك يستخدم الحد المخصص له من عرض المجال أم لا.

معدل النقل الأصغري المحجوز MRTR:

وهو أصغر معدل محجوز للمشترك. ويعبر عن المعدل عادة بعدد البتات في الثانية، وهو يحدد أصغر كمية للمعطيات تنقل من قبل المشترك عند متوسط الزمن.

التأخير الأعظمي Maximum Latency: يحدد هذا المعامل أعظم قيمة للزمن بين استقبال الرزمة من قبل المشترك وزمن إعادة توجيهها لمشترك آخر.

فقد الرزم Packet Loss:

يعبر عنه بنسبة مئوية، وهو يشير إلى النسبة المئوية للرزم الهابطة من الرتل وذلك عند تجاوز متطلبات التأخير الأعظمي.

أولوية النقل Traffic Priority:

تحدد الأولوية لنقل الخدمة، حيث تقوم بتفضيل خدمة عن أخرى." (Al-Aboodi) . ،2021 ،(25

2-3- أهداف خوارزميات الجدولة:

- ❖ الهدف الرئيسي لخوارزميات الجدولة هو تمكين التشارك بعرض المجال الكلي للنظام بشكل عادل بين المستخدمين.
- ❖ يجب أن تضمن الخوارزمية عرض مجال أصغري لكل مشترك.
- ❖ القدرة على مقابلة ضمانات هبوط الرزمة.
- ❖ القدرة على إنقاص تباين زمن الوصول (التأخير).

من ناحية أخرى يتم مقارنة خوارزميات الجدولة بالاعتماد على العوامل الآتية: "

- ❖ البساطة: تقود بساطة تنفيذ الخوارزمية إلى عملية أسرع وبالتالي زمن وصول للرزمة أقل، بالإضافة لذلك كلما كانت الخوارزمية أقل تعقيداً فإن الكلفة تكون أقل.
- ❖ الإنصاف: تهدف خوارزميات الجدولة إلى تحقيق العدل والمساواة بين المشتركين من ناحية تخصيص عرض المجال.
- ❖ المرونة: يجب أن تكون خوارزمية الجدولة قادرة على التوفيق بين المستخدمين مع متطلبات جودة الخدمة المختلفة.
- ❖ استغلال الوصلة: إن الاستفادة العظمى من الوصلة، خاصة في الاتصالات اللاسلكية، ذات أهمية كبرى بالنسبة لمزودي الخدمة وذلك لأن دخل المنتج يتناسب بشكل مباشر مع هذا المعيار.
- ❖ الحماية: إن خوارزمية الجدولة تؤمن الحماية للمستخدمين من تقلبات الشبكة." (Al-Aboodi،2021،29)

2-4- أصناف خوارزميات الجدولة:

إن عملية الجدولة تعني تخصيص موارد النظام للمشتركين، وتنجز هذه العملية لكلا الوصلتين الصاعدة والهابطة، لكن الجدولة في الوصلة الصاعدة تواجه بعض الصعوبة وذلك لأن خوارزمية الجدولة ليس لديها كل المعلومات عن المشتركين كحجم الرتل مثلاً.

تم تصنيف خوارزميات الجدولة من أجل الوصلة الصاعدة إلى ثلاث فئات:

خوارزميات الجدولة المتجانسة: وضعت هذه الخوارزميات أساساً من أجل الشبكات السلكية ولكنها استخدمت أيضاً في شبكات WiMAX لتفي بمتطلبات جودة الخدمة. لا يعالج هذا النوع من الخوارزميات مسألة نوعية قناة الاتصال.

خوارزميات الجدولة الهجينة: تقوم خوارزميات هذه الفئة بدمج أكثر من خوارزمية من خوارزميات الفئة السابقة وذلك من أجل الإيفاء بمتطلبات جودة الخدمة ومن أمثلتها الخوارزميتين

المدروستين في هذه المقالة. تعالج بعض هذه الخوارزميات مسألة ظروف القناة المتغيرة في WiMAX.

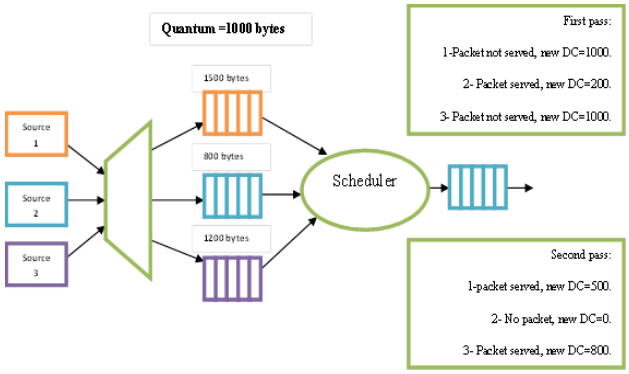
خوارزميات الجدولة الانتهازية(Opportunistic): تركز هذه الخوارزميات على استغلال التغيرات في ظروف القناة في wimax. تسعى أيضاً هذه الخوارزميات لتحقيق متطلبات جودة الخدمة وتحقيق المساواة بين المشتركين.

3-1- خوارزمية جولة روبن مع عداد للعجز DRR (deficit round Robin):

صممت هذه الخوارزمية للتغلب على مشكلة عدم الإنصاف الموجودة في خوارزمية RR مع احتفاظها بنفس درجة التعقيد البسيطة لخوارزمية RR، فخوارزمية RR تكون غير منصفة عندما تكون أطوال الرزم غير متساوية." في هذه الخوارزمية يتم تخصيص كمية خدمة ثابتة Q لكل عملية للمشترك حسب متطلبات جودة الخدمة المرغوبة من المشترك " (Heid et al،2014، 11). عندما لا يكون المشترك قادراً على إرسال الرزمة، فإن الكمية المتبقية تخزن في عداد للعجز DC. قيمة عداد العجز تضاف لكمية الخدمة المخصصة للمشترك في الدورة التالية.

عندما يكون طول الرزمة التي في انتظار إرسالها أقل من كمية الخدمة المخصصة للمشترك فإنه يتم إرسال هذه الرزمة وقيمة عداد العجز تنقص بمقدار طولها. وعندما تكون الرزمة أكبر من كمية الخدمة فعندها لن يستطيع المشترك الإرسال وتضاف قيمة العجز الحاصل للعداد.

يبين الشكل (2) آلية عمل هذه الخوارزمية، فكما نلاحظ منه أنه من أجل كمية خدمة مقدمة للمشتركين 1000 بايت في الدورة الواحدة، فإن المشترك الأول والأخير لن يستطيعا الإرسال في الدورة الحالية لأن حجم رزمهما أكبر من 1000، وتتم إضافة العجز الحاصل إلى عداد العجز وبذلك يصبح المشتركين قادرين على الإرسال في الدورة التالية، أما المشترك الثاني فيتم إرسال رزمه بما أن كمية الخدمة أكبر من قيمة حجم رزمته. يستطيع المستخدم الاستمرار بالإرسال طالما أن طول الرزمة أصغر من قيمة العداد. تناسب هذه الخوارزمية الشبكات التي يكون فيها حجم الرزم متغير، ولكنها غير مناسبة للوصلة الصاعدة لأنها تتطلب معرفة دقيقة لحجم الرزمة.

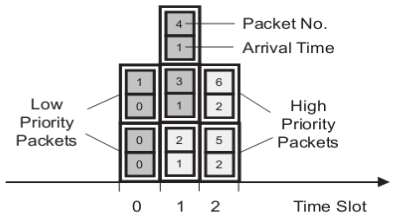


الشكل(2) خوارزمية DRR

3-2-خوارزمية الأسبق زمناً أولا المعدّلة MEDF (modified earliest deadline first):

إن خوارزمية EDF واحدة من أكثر الخوارزميات استخداماً لتطبيقات الزمن الحقيقي حيث تختار المشتركين بالاعتماد على متطلبات التأخير لهم. تخصص هذه الخوارزمية زمن نهائي لوصول الرزم للمشترك ثم تمنح عرض المجال للمشترك صاحب الزمن الأقل. كل مشترك يحدد قيمة أعظمية لمتغير التأخير (latency)، يضاف لها زمن وصول الرزمة ليشكلا معاً الزمن النهائي deadline ويوضع كلاحقة للرزمة.

في الخوارزمية المطورة عنها MEDF يتم تخزين رزم البيانات في أرتال بنفس أسلوب FIFO (الداخل أولاً يخرج أولاً)، يميز كل رتل بزمن نهائي للوصول معدل والذي هو عبارة عن زمن وصول الرزم مضاف له إزاحة محددة للرتل. ويتم إرسال الرزمة ذات الزمن الأقل من بين الرزم في المواقع الأمامية لكل الأرتال. والشكل (3) يبين كيف تختار هذه الخوارزمية الرزم للإرسال.



الشكل (3) خوارزمية MEDF

4- تحليل أداء الخوارزميات:

تم تنفيذ الخوارزمية باستخدام برمجية الماتلاب والذي يعد أداة أساسية في دراسة أنظمة الاتصالات ومحاكاتها، وإظهار النتائج ضمن بيئة سهلة البرمجة. ويستخدم هذا البرنامج عموماً في حل معظم المسائل العلمية والهندسية، استناداً إلى نماذج تصف هذه المسائل والظواهر الهندسية. وتم التنفيذ باستخدام محددات الشبكة المبينة بالجدول (4-1):

الجدول (4-1) محددات المحاكاة

المحدد	القيمة
الطبقة الفيزيائية	Wireless MAN-OFDM
عرض المجال	20 MHz
موضع العقد	عشوائي
عدد المستخدمين	1-200
بادئة رشقة الوصلة الصاعدة	16 symbols

ويبين الجدول (4-2) محددات نقل الصوت عبر الانترنت (VOIP)، كما يبين الجدول (4-3) محددات نقل الفيديو عبر الشبكة.

الجدول (4-2) محددات نقل الصوت عبر الانترنت

المحدد	القيمة
MRTR	64 Kbps
MSTR	500 Kbps
معدل النقل الوسطي	282 Kbps
معدل فقد الرزم المسموح	5%

الجدول (4-3) محددات نقل الفيديو

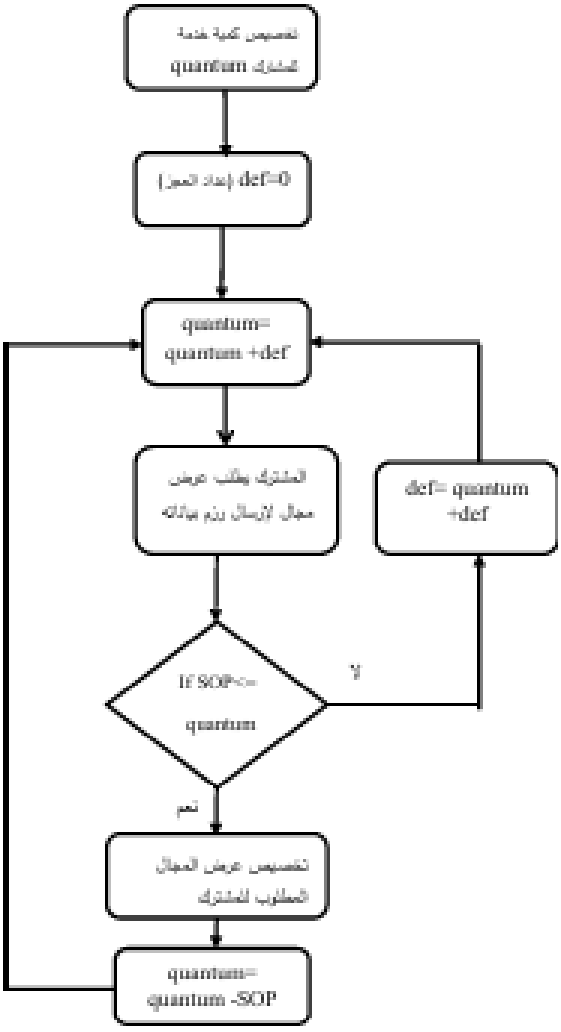
المحدد	القيمة
MRTR	25 Kbps
MSTR	64Kbps
معدل النقل الوسطي	44 Kbps
معدل فقد الرزم المسموح	10%

4-1- تحليل أداء خوارزمية DRR:

يبين الشكل (4) مخطط تنفيذ هذه الخوارزمية ومنه نجد:

حددت كمية خدمة لكل مشترك من قبل النظام quantum

عرفنا متحول عداد العجز def وأسندنا الصفر قيمة أولية له.

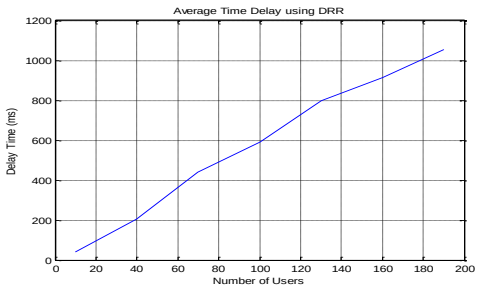


الشكل (4) مخطط تنفيذ خوارزمية DRR

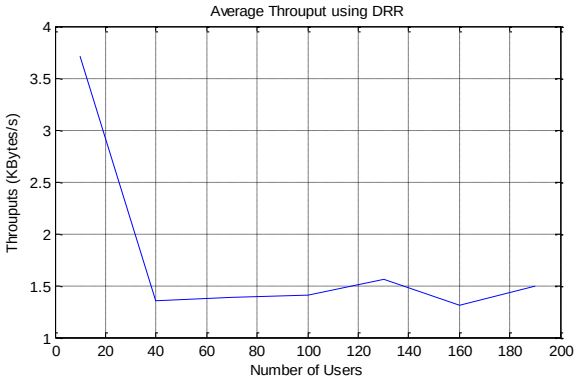
عندما يطلب مشترك ما عرض مجال للإرسال تقوم الخوارزمية باختبار حجم الرزمة المراد إرسالها SOP وتقارنها مع حجم كمية الخدمة الممنوحة للمشترك صاحب هذه الرزمة، فإذا كان حجم الرزمة أصغر من كمية الخدمة المخصصة للمشترك يتم إرسالها، ويتم بعد ذلك إنقاص حجم هذه الرزمة من حجم البيانات العائدة للمشترك، كما يتم طرح حجم هذه الرزمة من كمية الخدمة الخاصة بالمشترك أيضاً.

أما إذا كان حجم الرزمة أكبر من كمية الخدمة فلن يتم إرسالها ويضاف لعداد العجز def قيمة كمية الخدمة المخصصة للإرسال للمشترك ليقوم باستخدامها في الدورة التالية.

حصلنا بعد التنفيذ على النتائج المبينة بالأشكال الآتية، حيث يبين الشكل (5) أداء الخوارزمية بالنسبة للتأخير، ويبين الشكل (6) أداء الخوارزمية بالنسبة لمعدل التدفق.



الشكل (5) أداء خوارزمية DRR من حيث التأخير



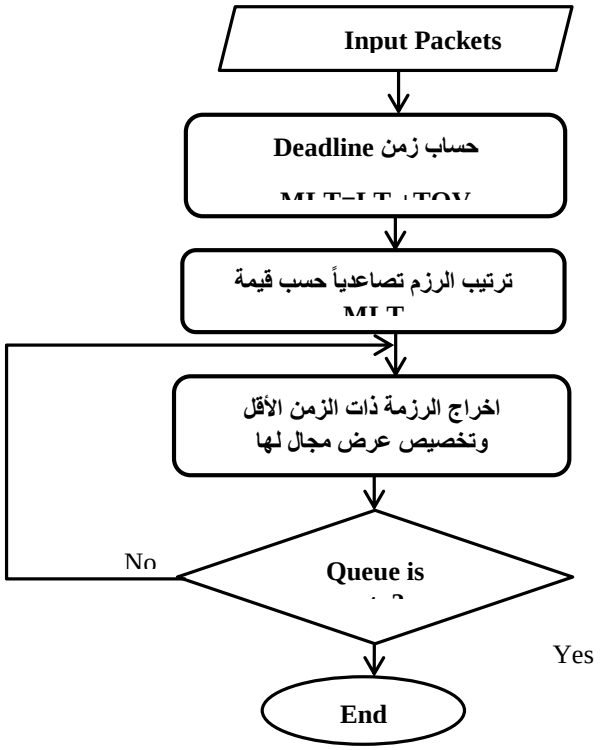
الشكل (6) أداء خوارزمية DRR من حيث معدل التدفق

فالشكل (5) يبين لنا التأخير الحاصل بدلالة عدد المستخدمين، وكما نلاحظ أن قيم التأخير تزداد بشكل كبير مع زيادة عدد المستخدمين، فمن أجل 180 مستخدم مثلاً نلاحظ أن التأخير يصل للقيمة 1000 ميلي ثانية تقريباً في الحالة الأولى، ومن الشكل (6)نجد أن معدل التدفق يتناقص بشكل عام بزيادة عدد المستخدمين، حيث نلاحظ أنه انخفض بشكل كبير (حوالي النصف تقريباً) عندما تجاوز عدد المشتركين المتصلين بالمحطة 40 مشترك.

4-2- تحليل أداء خوارزمية MEDF:

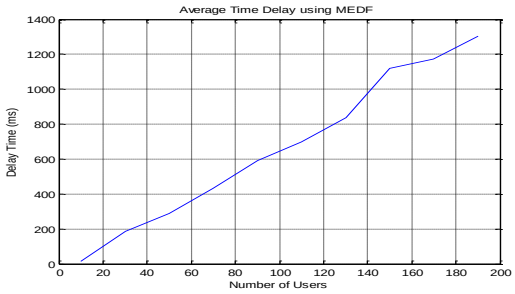
يبين الشكل (7) مخطط تنفيذ الخوارزمية ومنه نجد:

- يتم حساب زمن الانتهاء deadline لكل رزمة والذي هو حاصل جمع زمن الوصول لكل رزمة مضاف له التأخير المسموح: $MLT = LT + TOV$.
- تقوم الخوارزمية بترتيب الأزمنة المحسوبة تصاعدياً، ثم تختار الرزمة ذات الزمن الأقل لتقوم بإرسالها.
-

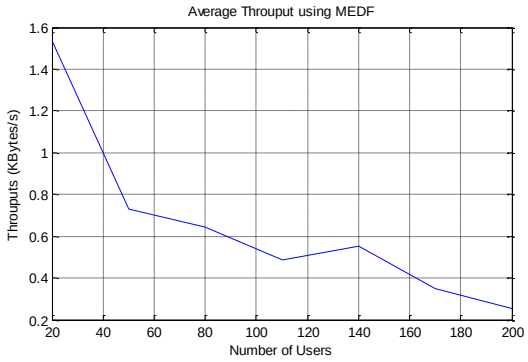


الشكل (7) مخطط تنفيذ خوارزمية MEDF

تم رسم التأخير ومعدل التدفق بدلالة عدد المستخدمين وكانت النتائج كما في الشكلين (8) و(9).



الشكل (8) أداء خوارزمية MEDF من حيث التأخير



الشكل (9) أداء خوارزمية MEDF من حيث معدل التدفق

في الشكل (8) نلاحظ أن التأخير يتزايد بزيادة عدد المستخدمين، حيث نجد أنه من أجل 100 مستخدم كانت قيمة التأخير الحاصل حوالي 650 ميلي ثانية.

أما معدل التدفق فنلاحظ من الشكل (9) أنه يتناقص مع زيادة عدد المستخدمين فعند 20 مشترك نجد أن قيمة معدل التدفق تساوي إلى 1.5 كيلوبايت بالثانية، بينما من أجل 100 مشترك فإنه ينخفض إلى حوالي 0.5 كيلوبايت بالثانية.

5- آلية التحكم بقبول الاتصال CAC:

إن التحكم بقبول الاتصال هو المسؤول عن قبول اتصالات جديدة في الشبكة. قبل قبول أي اتصالات، تقوم هذه الآلية بالتأكد من أن الشبكة قادرة على تزويد جودة الخدمة المطلوبة. إن الهدف الرئيسي للتحكم بقبول الاتصال هو تعيين عدد الاتصالات النشطة وبذلك نضمن أداء جودة الخدمة لكل الاتصالات النشطة. إذاً قرار قبول الاتصال يتم برفض أو قبول الاتصالات الواردة. التحكم بقبول الاتصال يستخدم عند كل محطة للمشترك ليحدد عدد الاتصالات الجارية ضمن تلك المحطة. عند كل محطة للمشتركين تجمع اتصالات الوصلة الصاعدة ضمن رتل واحد. حجم هذا الرتل يكون محدود وبالتالي عندما يمتلئ فإنه يتم إسقاط الرزم الزائدة بناء على زمن وصولهم. في نمط اتصالات من نقطة لعدة نقاط تستخدم نوعين من خوارزميات التحكم بقبول الاتصال:"

خوارزمية التحكم بقبول الاتصال المعتمدة على العتبة threshold based CAC: وفيه يتم إنشاء عتبة تحدد عدد الاتصالات الجارية. فعندما يطلب الاتصال مشتركاً جديداً يتم التأكد فيما إذا كان عدد الاتصالات الكلي قد تجاوز العتبة أو لا، فإذا لم يتم تجاوزها يقبل الاتصال، وإلا سوف يتم رفضه.

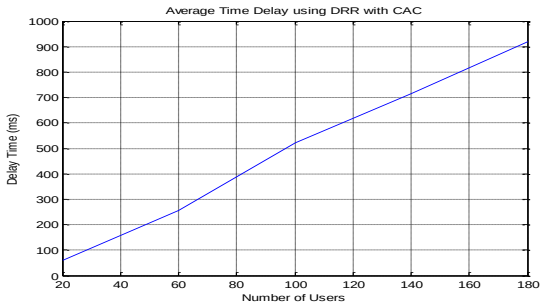
خوارزمية queue aware CAC: تعمل هذه الخوارزمية بالاعتماد على احتمالية قبول الاتصال والتي تحدد بالاعتماد على حالة الرتل."

(Saravanasely et al،2013،2188)

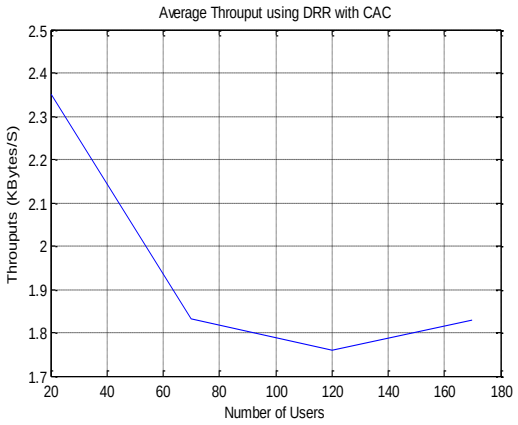
من أجل تحسين أداء الخوارزميات المدروسة في هذه المقالة لجأنا إلى استخدام آلية بسيطة للتحكم بقبول الاتصال وفيها يتم مقارنة حجم الرزمة المراد إرسالها مع سعة القناة فإذا كانت أكبر من السعة المتبقية يتم رفضها فوراً قبل بدء عملية الجدولة، وفي حال كانت أصغر يتم قبولها.

5-1- أداء خوارزمية DRR بعد استخدام التحكم بقبول الاتصال:

بعد تطبيق إجرائية التحكم بقبول الاتصال CAC مع هذه الخوارزمية حصلنا النتائج المبينة بالشكلين (10) و(11).



الشكل (10) أداء خوارزمية DRR بالنسبة للتأخير بوجود CAC



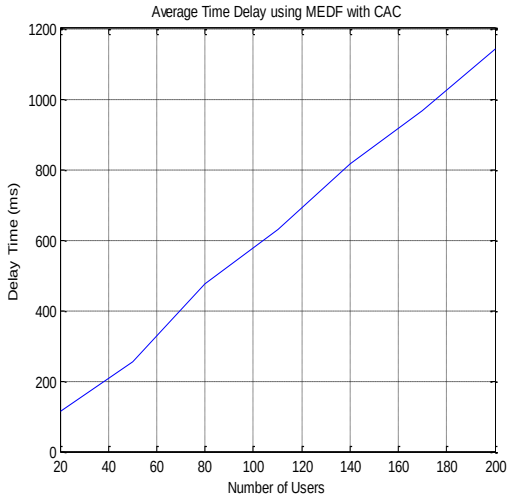
الشكل (11) أداء خوارزمية DRR بالنسبة لمعدل التدفق بوجود CAC

بمقارنة الشكلين (5) و(10) نجد أن قيم التأخير قد تحسنت مع استخدام CAC فمن أجل 180 مستخدم مثلاً لاحظنا أن التأخير يصل للقيمة 1000 ميلي ثانية تقريباً، ومع وجود CAC نجد أن هذه القيمة انخفضت إلى حوالي 900 ميلي ثانية، ومن أجل100 مشترك انخفضت قيمة التأخير من 600 ميلي ثانية إلى حوالي 500 ميلي ثانية. أي أن أداء الخوارزمية تحسن بالنسبة للتأخير مع وجود التحكم بقبول الاتصال CAC.

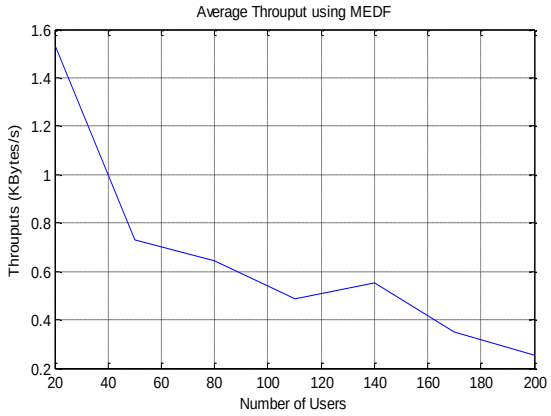
وبمقارنة الشكلين (6) و(11) في الحالتين نجد أن معدل التدفق يتناقص بشكل عام بزيادة عدد المستخدمين، كما نلاحظ أنه في الحالة الأولى انخفضت بشكل كبير (حوالي النصف تقريباً) عندما تجاوز عدد المشتركين المتصلين بالمحطة 40 مشترك، أما في الحالة الثانية بدأ الانخفاض بشكل واضح عندما تجاوز عدد المشتركين 60 مشترك.

5-2- أداء خوارزمية MEDF بعد استخدام التحكم بقبول الاتصال:

حصلنا على النتائج المبينة بالشكلين (12) و(13) بعد استخدام إجرائية التحكم بقبول الاتصال.



الشكل (12) أداء خوارزمية MEDF من حيث التأخير مع وجود CAC



الشكل (13) أداء خوارزمية MEDF من حيث القدرة الإنتاجية

بمقارنة الشكلين (8) و(12) نلاحظ أن التأخير يتزايد بزيادة عدد المستخدمين، ونلاحظ أيضاً أن إجرائية CAC قد حسنت الأداء بالنسبة للتأخير، حيث نجد أنه من أجل 100 مستخدم كانت قيمة التأخير الحاصل حوالي 650 ميلي ثانية قبل

استخدام التحكم بقبول الاتصال، وبعد استخدامه انخفضت إلى حوالي 550 ميلي ثانية.

أما معدل التدفق فنلاحظ من الشكلين (9) و(13) أنها فعند 20 مشترك نجد أن قيمة القدرة الإنتاجية قبل استخدام CAC تساوي إلى 1.5 كيلو بايت بالثانية، وبعد استخدام التحكم بقبول الاتصال مع الخوارزمية أصبحت قيمة القدرة من أجل 20 مشترك حوالي 2 كيلو بايت بالثانية.

بمقارنة هذه الخوارزمية مع خوارزمية DRR نجد أن أداء خوارزمية DRR أفضل من ناحية بساطة التنفيذ والتأخير، بينما خوارزمية MEDF أفضل من ناحية معدل التدفق فهي أعقد في التنفيذ ولكن قيم معدل التدفق لها أعلى.

6- الخاتمة والأعمال المستقبلية:

تعد عملية الجدولة من أهم مكونات نظم الاتصالات السلكية واللاسلكية، فهي المسؤولة عن توزيع عرض مجال النظام على المشتركين بالشكل الذي يضمن أداء أمثل للشبكة، ويحقق جودة خدمة عالية للمشتركين.

في هذه المقالة قمنا بدراسة أداء اثنتان من الخوارزميات المستخدمة في عملية الجدولة في شبكات الواي ماكس وهما خوارزمية DRR وخوارزمية MEDF. وقمنا بمحاكاة هذه الخوارزميات باستخدام برنامج MATLAB وبينا بالنتائج أداء هذه الخوارزميات بالنسبة للتأخير الحاصل ومعدل التدفق. ثم بعد ذلك حاولنا تحسين الأداء عن طريق استخدام التحكم بقبول الاتصال CAC، ولاحظنا من النتائج التي حصلنا عليها كيف أن أداء الخوارزميات قد تحسن بالنسبة لمعدل التدفق في كلا الخوارزمتيتين، وتحسن بالنسبة للتأخير في MEDF. وبما أن قيم التأخير منخفضة في الخوارزميتين فإن هذه الخوارزميات يمكن استخدامها في تطبيقات أنظمة الزمن الحقيقي وأصناف جودة الخدمة UGS و RTP، علماً أن DRR أبسط من حيث التنفيذ ولكن بالمقابل فإن MEDF تعطي معدل دفق أعلى للبيانات.

في الآفاق المستقبلية للبحث يمكن دراسة عملية الجدولة بوجود آلية إعادة الإرسال عند حدوث خطأ بالإرسال مثل ARQ أو ARQ-H حيث يتم إعلام المرسل بوصول الرزم المرسلة أو عدم وصولها وهذا بدوره يضمن جودة خدمة أفضل للمشتركين. ويمكن أيضاً استخدام آليات أخرى لعملية التحكم بقبول الاتصال ودراسة أداء خوارزميات الجدولة بعد تطبيقها.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).

قائمة المصطلحات:

	المصطلح	معناه
Quality of service	QoS	جودة الخدمة
Institute of electrical and electronic engineers	IEEE	معهد مهندسو الكهرباء والإلكترون
Non Line of Sight	NLOS	عدم وجود خط نظر
Medium access control	MAC	التحكم بالوصول إلى الوسائط
Orthogonal frequency division multiplex	OFDM	التجميع بتقسيم التردد المتعامد
Orthogonal frequency division multiple access	OFDMA	النفاذ المتعدد بتقسيم التردد المتعامد
multi ،Multi input output	MIMO	تعدد المداخل والمخارج
automatic repeat request	ARQ	طلب التكرار الآلي
Base station	BS	المحطة القاعدية
subscriber station	SS	محطة المشترك
Access Service Network	ASN	شبكة الوصول للخدمة
Core Service Network	CSN	شبكة توصيل الخدمة
Internet Protocol	IP	بروتوكول الإنترنت
Physical layer	PHY	الطبقة الفيزيائية
Single carrier	SC	حامل وحيد
Unsolicited Grant service	UGS	خدمة المنح بالتزكية
Real time polling service	RTPS	خدمة استقصاء الزمن الحقيقي
Extended real time polling service	ERTPS	خدمة استقصاء الزمن الحقيقي الموسعة
Non real time polling service	NRTPS	خدمة استقصاء الزمن غير الحقيقي
Best effort	BE	أقصى جهد
Maximum sustained traffic rate	MSTR	معدل النقل الأعظمي المستمر
Minimum reserved traffic rate	MRTR	معدل النقل الأصغري المحجوز
Voice over	VOIP	المهاتفة عبر
Internet protocol		بروتوكول الانترنت
DRR	Deficit Round Robin	خوارزمية جولة روبن مع عداد العجز
MEDF	Modified Earliest Deadline First Output	خوارزمية الأسبق زمناً أولاً المعدلة
Call Admission Control	CAC	التحكم بقبول الاتصال
First input first output	FIFO	الداخل أولاً يخرج أولاً

Reference:

[1] Al-Aboodi, M, (2021), Portfolio Peak Algorithms Achieving Superior Performance for Maximizing Throughput in WiMAX Networks. (Doctoral dissertation، Department of Computer and Information Sciences University of Strathclyde).

[2]Ahmed, Zوو Hamma, S, and Naser, Z (2019), An optimal bandwidth allocation algorithm for improving QoS in WiMAX, Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature 2019.

[3] Heid,A, KHoei, Aو Mirjalilyو GH، and Sarram, (2014), Improving the Quality of Services by scheduling algorithms in wimax networks, Department of Computer Engineering, Yazd Science Research Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran, 11.

[4] KHOSHNAVAZ، SH، and RAHBAR، A، (2022) ، IMPROVING QOS AND FAIRNESS OF PACKET SCHEDULING IN WIMAX NETWORKS، the Sey Bold Report .

[5] Saravanaselvi، L (November، 2013)، a Survey on Call Admission Control and Bandwidth Allocation for WiMAX، International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering، Vol. 1، pp. 2185-2193.

[6] Valencia، C،(June 2009)، Scheduling Alternatives for Mobile Wimax End to End Simulation and Analysis، (Master thesis ، ، Ottawa، Canada :Carlton University).