

إدارة المصادر الراديوية في شبكات الجيل الخامس
اعتماداً على الاتصالات بالأمواج المليمترية

د. محمد خالد شاهين**

هلا أمين*

(تاريخ الإيداع 29 / 4 / 2018. قُبل للنشر في 31 / 3 / 2019)

□ ملخص □

أدى الطلب المتزايد باستمرار على خدمات المعطيات النقالة mobile من جهة ومحدودية الطيف الترددي المخصص من جهة أخرى، للاهتمام بتطوير منظومات اتصالات لاسلكية تتيح توسعة الطيف الترددي المتاح ليشمل استخدام مجال الأمواج المليمترية. ومن المتوقع أن تؤدي تقانة الأمواج المليمترية دوراً أساسياً في منظومات الجيل الخامس 5G القادمة.

تعدّ خصائص انتشار القناة من التحديات الأساسية في تقانة الأمواج المليمترية، نظراً لترددات التشغيل المرتفعة، والتي تعاني من ضياع مسار عالي إضافةً إلى تأثيرها بالعوائق المختلفة على مسار الانتشار. وهذا ينعكس على استخدام المصادر الراديوية والنفاذ المتعدد وخصائص التداخل، مما يجعل خوارزميات إدارة المصادر الراديوية إحدى التحديات الأساسية في تقانة الأمواج المليمترية.

يقترح هذا البحث خوارزمية إدارة موارد راديوية جديدة من أجل منظومة الاتصالات بالأمواج المليمترية، والتي تأخذ بالحسبان متطلبات التطبيقات مختلفة. وقد قمنا بتنفيذ برمجي للخوارزمية والتحقق من أدائها باستخدام محاكي الشبكات NS3-v3.24، حيث قمنا بدراسة معدلات قبول المكالمات ومقدار الموارد الراديوية المخصصة لكل تطبيق مدروس.

الكلمات المفتاحية: إدارة الموارد الراديوية (RRM)، كتلة الموارد الراديوية (RBs)، الأمواج المليمترية، الجيل الخامس.

** أستاذ مساعد - قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق - سورية.

mkchahine@gmail.com

* طالبة دكتوراه - قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق - سورية.

hala.a.amin@gmail.com

Radio Resource Management in 5G Networks using Millimeter Wave Communications

Dr. Mohammed Khaled Chahine**
Hala Amin*

(Received 29 / 4 / 2018. Accepted 31 / 3 / 2019)

□ ABSTRACT □

The continuous growing demand for mobile data services on one side, and the limited allocated frequency spectrum on the other side, has led to the development of wireless communication systems that allow the extension of the available spectrum to include the use of the millimeter wave's band. The millimeter wave's technology is expected to play a key role in the forthcoming 5G system.

The propagation characteristics of the channel are considered among the major challenges in the mmWave technology, due to high operating frequencies, which suffer from high path loss in addition to their vulnerabilities to the different obstacles along the propagation path. This affects the use of radio resources, multiple access and interference characteristics, making radio resource management algorithms one of the main challenges in mmWave technology.

This research proposes a new radio resource management algorithm for mmWave communication system that takes into account different application requirements. We implemented this algorithm using network simulator NS3 and verified its performance, by evaluating the admission call rates and allocated radio resource for each considered application.

Keywords: Radio Resource Management (RRM), Resource Blocks (RBs), Millimeter Wave (mmWave), 5G.

** Assistant Professor, Department of Electronic and Communication Engineering, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Damascus University. Email: mkchahine@gmail.com

* PhD student, Department of Electronic & Communication Engineering, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Damascus University. Email: hala.a.amin@gmail.com

مقدمة

أدى الطلب المتزايد باستمرار على خدمات المعطيات النقالة mobile من جهة ومحدودية الطيف الترددي المخصص من جهة أخرى، للاهتمام بتطوير منظومات اتصالات لاسلكية تتيح توسعة الطيف الترددي المتاح ليشمل استخدام مجال الأمواج المليمترية (mmWave) millimeter wave. ومن المتوقع أن تؤدي تقانة الأمواج المليمترية دوراً أساسياً في منظومات الجيل الخامس 5G القادمة نظراً لامتلاكها عرض مجال خام raw bandwidth كبير للغاية، مما يسمح بتحقيق معدلات معطيات عالية مع رتب تعديل منخفضة [1,2].

ستكون تقانة الأمواج المليمترية mmWave متاحة لاستخدام كامل المجال المتوافر حالياً وهو بين (6-86GHz) إضافة إلى المجال المتوقع مستقبلاً وهو (90-300GHz). وقد جرى توظيف المجال E-band (80GHz) تجارياً منذ عدة سنوات، في حين يعد المجالان D-band (150GHz) و W-band (100GHz) من المجالات الواعدة [3].

تعدّ خصائص انتشار القناة من التحديات الأساسية في تقانة الأمواج المليمترية، نظراً لترددات التشغيل المرتفعة، والتي تعاني من ضياع مسار عالي إضافة إلى تأثيرها بالعوائق المختلفة والتخميد نتيجة الامتصاص من قبل جزيئات الأكسجين وبخار الماء في الجو [4,5]، مما يسبب انقطاعات outages في الاتصال من جهة، وجودة قناة متقطعة intermittent من جهة أخرى، مما يتطلب استخدام هوائيات ذات ربح عالي في كل من المرسل والمستقبل، وهذا يؤثر على استخدام المصادر الراديوية، والنفاذ المتعدد، وخصائص التداخل. لذا تعدّ خوارزميات إدارة المصادر الراديوية (RRM) radio resource management من التحديات الأساسية في منظومات الاتصالات بالأمواج المليمترية [6,7].

يقترح البحث خوارزمية إدارة مصادر راديوية لمنظومات الاتصال بالأمواج المليمترية، تأخذ بالحسبان متطلبات التطبيقات المختلفة من حيث عرض المجال المطلوب.

أهمية البحث وأهدافه

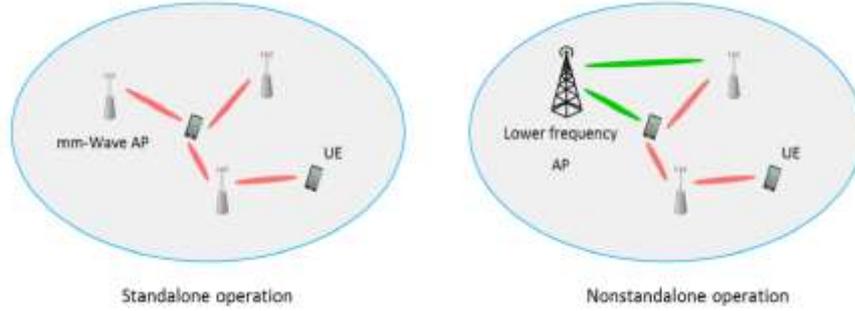
من المتوقع أن تؤدي تقانة الأمواج المليمترية دوراً مهماً في منظومات الجيل الخامس 5G، لامتلاكها مجال خام كبير مما يغطي الازدياد الكبير في طلبات المستخدمين على خدمات المعطيات النقالة. تعدّ خصائص انتشار القناة من التحديات الأساسية في تقانة الأمواج المليمترية، نظراً لترددات التشغيل المرتفعة. مما يجعل خوارزميات إدارة الموارد الراديوية من التحديات الأساسية في منظومات الاتصالات بالأمواج المليمترية. قمنا في هذا البحث باقتراح خوارزمية لإدارة الموارد الراديوية تأخذ بالحسبان أولوية الخدمة المطلوبة من قبل المستخدم، حيث تقسم الخدمات إلى مكالمات طارئة، أو مكفولة أو خدمات عادية. كما تعتمد الخوارزمية على تقسيم المستخدمين إلى ثلاث مجموعات وفقاً لمتطلبات الخدمة المطلوبة، حيث تحتاج الخدمات الفيديوية موارد راديوية أكبر من الخدمات الصوتية والنصية. وتم اختبار هذه الخوارزمية على منظومة اتصال بالأمواج المليمترية لتقييم أداءها من حيث عدد المستخدمين الممكن تخدمهم وكمية الموارد الراديوية المحصنة لهم تبعاً للخدمة المطلوبة.

طرائق البحث ومواده

1- بنية منظومة الأمواج المليمترية mmWave

يتطلب توظيف منظومة الأمواج المليمترية تحديد العناصر المكونة للشبكة وهي المحطات القاعدية Base Stations (BS)، ونقاط النفاذ (AP) Access Points، وتجهيزات المستخدم (UE) User Equipment، وخصائص الانتشار وموسطات parameters الخلية. كما يتطلب تعريف إعدادات شبكة النفاذ الراديوي Radio Access Network (RAN) ومنها: التردد المركزي للمجال، وعرض المجال، ومخطط إشعاع الهوائي، وإعدادات المرسل والمستقبل. ويمكن تشغيل منظومات الأمواج المليمترية بنمطين أساسيين، كما هو مبين بالشكل (1) وهما [8]:

- القائم بذاته standalone وفيه لا تحظى الشبكة بدعم من شبكات المجالات الترددية الأخفض.
- غير القائم بذاته non standalone/overlay وفيه تزود عناصر الشبكة باتصالات متزامنة مع عناصر شبكة الأمواج المليمترية وشبكات المجالات الترددية الأخفض مثل التطور طويل الأمد LTE أو الجيل الخامس 5G بالمجالات الترددية تحت ستة غيغا هرنز sub-6GHz.



الشكل (1): نمطا التشغيل للأمواج المليمترية : القائم بذاته وغير القائم بذاته [6].

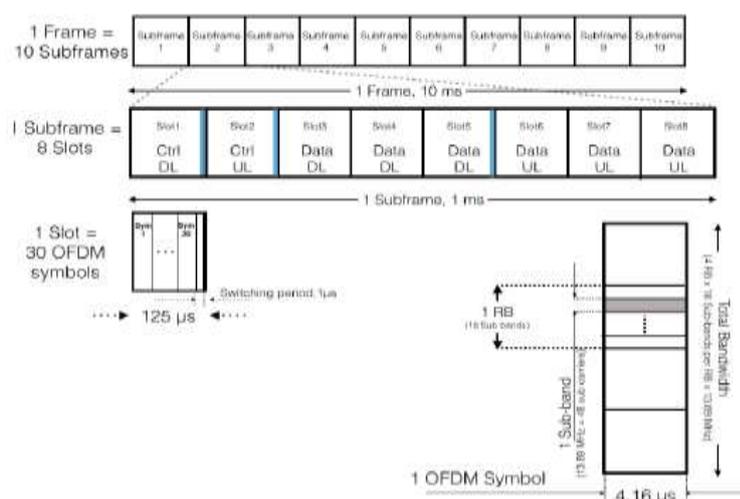
2- بنية الإطار في منظومات الأمواج المليمترية

يقسم الإطار في منظومات الاتصالات المليمترية إلى أطر جزئية sub-frames بطول ثابت يحدده المستخدم، حيث يقسم كل إطار جزئي بدوره إلى عدد من الحيزات slots ذات مدة زمنية ثابتة، في حين يتكون الحيز من عدد محدد من رموز التجميع باقتسام التردد المتعامد Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). ويمكن أن يخصص الحيز إما للتحكم أو للمعطيات وذلك على كل من الوصلة الصاعدة (UL) uplink والهابطة (DL) downlink.

يبين الشكل (2) مثلاً على بنية الإطار، وفيه للإطار طول 10ms، ويقسم إلى 10 أطر جزئية كل منها مدته 1ms، وبدوره يقسم الإطار الجزئي إلى 8 أحياز كل منها بطول 125µs وهي تمثل 30 رمز OFDM بطول تقريبي 4.16µs. يخصص أول حيزين للتحكم بالوصلة الهابطة والصاعدة على الترتيب، والأحياز من 3 إلى 5 تكون مخصصة للوصلة الهابطة، أما الأحياز من 5 إلى 8 فهي مخصصة للوصلة الصاعدة. وثمة فجوة بمقدار 1µs تدل على تبدل الاتجاه من الوصلة الصاعدة إلى الهابطة أو العكس.

أما في المجال الترددي، فيقسم عرض المجال 1GHz إلى 4 كتل مصادر resource blocks (RBs). وكل كتلة مصادر تقسم إلى 18 مجال جزئي كل منها بعرض 13.89MHz، مما يشكل بالمجمل 72 مجال جزئي. ويتكون كل مجال جزئي من 48 حامل جزئي، ومن ثم يكون العدد الكلي لعناصر المصادر resource elements (REs) هو

$$N_{RE} = 30 \times (48 \times 72) = 103680 \quad [9]$$



الشكل (2): مثال لبنية إطار منظومة الأمواج المليمترية [9].

3- إدارة المصادر الراديوية (RMM) radio resource management

- من التحديات الأساسية التي تواجه خوارزميات إدارة المصادر الراديوية في منظومات الأمواج المليمترية [8]:
- فقد اختراق penetration loss مرتفع لترددات الأمواج المليمترية، مما يفضي إلى تدهور في الأداء. وهذا يتطلب ضمان وصلات موثوقة وخاصة في الخدمات الحساسة للتأخير.
 - تغيير شروط القناة اللاسلكية وجودة الوصلة بشكل كبير نتيجة تحركية mobility المستخدمين، مما يتطلب اتخاذ قرارات سريعة لخوارزميات إدارة المصادر الراديوية. تسبب تحركية المستخدم تغيرات حمل كبيرة وعمليات تسليم (مناولة) handovers سريعة التغير نظراً لمسافات التغطية الصغيرة الخاصة بعقد النفاذ، ولذا يجب الأخذ بالحسبان إدارة الوصلات وموازنة الحمل load balancing ضمن وظائف خوارزميات إدارة المصادر الراديوية.
 - خصائص التداخل في منظومات الأمواج المليمترية مختلفة عن خصائصه في منظومات المجالات الترددية تحت 6 غيغا هرتز sub-6GHz، وذلك نظراً للإرسال الموجه، مما يتطلب تقنيات إدارة تداخل متقدمة.

4- بعض خوارزميات جدولة الموارد الراديوية في منظومات الأجيال السابقة

تعتمد خوارزميات جدولة الموارد في المنظومات الأجيال السابقة على تخصيص الموارد الراديوية بما يضمن أمثلة optimization أداء المنظومة وفقاً لمقاييس محددة مثل: معدل التدفق (الإنتاجية) throughput الكلي أو المتوسط للمستخدم، أو التأخير delay الأدنى أو الأعظمي أو المتوسط delay، أو الفعالية الطيفية spectral efficiency الكلية أو لكل مستخدم. ويستخدم للوصول إلى قرار التخصيص نوعان من المعلومات هما معلومات حالة القناة Channel State Information (CSI) وقياسات حركة العبور traffic measurements [8]. ونذكر فيما يأتي بعض من هذه الخوارزميات.

1-4 الداخل أولاً خارج أولاً (FIFO) First In First Out

تعدّ هذه الخوارزمية الأبسط بين خوارزميات الجدولة لكنها غير عادلة وهي تخدم طلبات المستخدمين تبعاً لترتيب وصولها وعندما يمتلئ الرتل queue تهمل الطلبات الواردة لاحقاً. ويعطى المقياس المستخدم في الخوارزمية بالعلاقة [11] (1).

$$m_{i,k}^{FIFO} = t - T_i \quad (1)$$

حيث يمثل t الزمن الحالي و T_i لحظة وصول طلب المستخدم i في كتلة الموارد k .

2-4 التعاقب الدوراني Round Robin

تقوم بتخصيص الموارد لجميع تجهيزات المستخدمين مع إهمال مسألة جودة القناة أو معدل المعطيات، حيث تضع طلبات المستخدمين بشكل عشوائي ضمن الرتل، أما الطلبات الجديدة فتوضع في نهاية الرتل. ويجري تخصيص تجهيزة المستخدم الأول ضمن الرتل بالموارد المتاحة، ثم تكرر الخطوات حتى انتهاء الموارد الراديوية المتاحة وعدم إمكانية تخصيص أي تجهيزة مستخدم جديدة بالموارد. ويعطى المقياس المستخدم بالعلاقة (2) الشبيهة بعلاقة خوارزمية الداخل أولاً خارج أولاً FIFO [11].

$$m_{i,k}^{RR} = t - T_i \quad (2)$$

إلا أن T_i يمثل آخر زمن تخديم لطرفية المستخدم.

مع أن هذه التقنية تبدو عادلة fair حيث تخصص لجميع تجهيزات المستخدمين نفس كمية الموارد، ولكنها تهمل حقيقة أن بعض تجهيزات المستخدمين تعاني من شروط قناة سيئة تتطلب مصادر إضافية لتأمين نفس معدل المعطيات. وهي غير مناسبة لمنظومات LTE، حيث تملك التجهيزات المختلفة المستخدمة خدمات مختلفة بمتطلبات جودة مختلفة.

3-4 الوضع في رتل بطريقة عادلة موزونة Weighted Fair Queuing

في هذه الخوارزمية تجمع الطلبات في أرتال مختلفة ويخصص لكل رتل وزن وهو يحدد نسبة عرض المجال المتاح لكل رتل، حيث يستخدم الوزن المحدد w_i للمستخدم i من أجل تعديل مقياس التعاقب الدوراني round robin. ومن ثمَّ يخصص عرض مجال متغير لكل خدمة اعتماداً على الوزن الخاص بكل رتل، وتبين العلاقة (3) مقياس هذه الخوارزمية [11].

$$m_{i,k}^{WFQ} = w_i \cdot m_{i,k}^{RR} \quad (3)$$

4-4 معدل تدفق عادل أعمى Blind Equal Throughput (BET)

تعتمد على تحقيق العدل بين المستخدمين من حيث معدل التدفق throughput، حيث تخصص مصادر أكثر للمستخدمين الذين يملكون معدل تدفق throughput أقل ومن ثمَّ يعانون من شروط قناة أسوأ، ولكن تحقيق هذه الميزة يكون على حساب الفعالية الطيفية، ويعطى المقياس بالعلاقة (4) [11].

$$m_{i,k}^{BET} = \frac{1}{R^i (t - 1)} \quad (4)$$

حيث يمثل $R^i (t - 1)$ متوسط معدل التدفق throughput للمستخدم i خلال نافذة سابقة والذي يعطى بالعلاقة (5) [11].

$$\overline{R^i(t)} = \left(1 - \frac{1}{T}\right) \cdot \overline{R^i(t-1)} + \frac{1}{T} \cdot R^i(t) \quad (5)$$

وتمثل $R^i(t)$ القيمة اللحظية لمعدل المعطيات في اللحظة t .

5-4 التأخير ذو الوزن الأعلى أولاً Largest Weighted Delay First (LWDF)

تأخذ هذه الخوارزمية بالحسبان وصول رزم المعطيات ضمن مهلة تأخير محددة في الخدمات التي تهتم بالتأخير، ومن ثمَّ يدخل زمن إنشاء الرزمة والمهلة الزمنية في حساب معامل الأولوية، كما هو مبين بالعلاقة (6) [11].

$$m_{i,k}^{MLWDF} = \alpha_i \cdot D_{HOL,i} \quad \text{where } \alpha_i = -\frac{\log \delta_i}{\tau_i} \quad (6)$$

حيث $D_{HOL,i}$ هو زمن الانتظار للرزمة و δ_i احتمال إعادها drop، و τ_i التأخير المطلوب للمستخدم i .

4-6 معدل التدفق الأعظمي Maximum Throughput

يجري فيها تحليل تقارير معلومات جودة القناة CQI الواردة من المستخدمين للحصول عن معدل المعطيات لكل قناة فرعية، حيث تستخدم هذه المعلومات في مقياس الأولوية لتحديد المستخدم الذي يمتلك قناة بشروط جيدة بالمقارنة مع الآخرين، ومن ثمَّ تخصص الموارد للمستخدم الذي يمكنه تأمين أعلى معدل تدفق throughput في هذه القناة الفرعية اعتماداً على نسبة الإشارة إلى الضجيج (SNR) Signal to Noise Ratio، ويعطى المقياس بالعلاقة (7).

$$m_{i,k}^{Max-T} = d_k^i(t) \quad (7)$$

وفيهما تمثل $d_k^i(t)$ معدل المعطيات المتوقع للمستخدم i في كتلة الموارد k ، ويعطى بالعلاقة (8) [11].

$$d_k^i(t) = \log_{10}[1 + SINR_k^i(t)] \quad (8)$$

4-7 التوزيع العادل التناسبي Proportional Fair

وفيه ترتب تجهيزات المستخدمين وفقاً لتابع أولوية معرّف كنسبة معدل التدفق (الإنتاجية) throughput اللحظي إلى المتوسط، وبعدها تخصص الموارد للمستخدم ذو الأولوية الأعلى، ثم تكرر الخطوات إلى أن تستخدم كامل الموارد أو تحقيق كامل متطلبات المستخدمين. هذه الخوارزمية مصممة للعمل في الزمن غير الحقيقي ولا تأخذ متطلبات جودة الخدمة QoS (من تأخير delay، وارتعاش jitter، وتلبث latency) بالحسبان، ويعطى المقياس بالعلاقة (9) [11].

$$m_{i,k}^{PF} = m_{i,k}^{Max-T} \cdot m_{i,k}^{BET} = \frac{d_k^i}{R^i(t-1)} \quad (9)$$

وفيهما يمثل d_k^i معدل المعطيات المقدر للمستخدم i في كتلة الموارد k ، والمقدار $\bar{R}^i(t-1)$ متوسط معدل المعطيات للمستخدم i ضمن نافذة سابقة. ويعطى $\bar{R}^i(t)$ متوسط معدل المعطيات للمستخدم i في اللحظة t في حال اختيار المستخدم i بالعلاقة (10)، وفي حال عدم اختياره بالعلاقة (11).

$$\bar{R}^i(t) = \left(1 - \frac{1}{T_{PF}}\right) \cdot \bar{R}_i(t-1) + \frac{1}{T_{PF}} \cdot R^i(t) \quad \text{user } i \text{ selected} \quad (10)$$

$$\bar{R}^i(t) = \left(1 - \frac{1}{T_{PF}}\right) \cdot \bar{R}_i(t-1) \quad \text{user } i \text{ not selected} \quad (11)$$

حيث يمثل T_{PF} حجم النافذة لمتوسط معدل التدفق throughput، ويجري اختياره بطريقة مناسبة لكي لا تلاحظ التجهيزات الأخرى التغير في جودة القنوات.

4-8 معدل التدفق إلى المتوسط (TTA) Throughput to Average

وتعتمد على تقسيم الموارد الراديوية المتاحة بين جميع المستخدمين بالتساوي وفقاً لمقياس الأولوية المعطى بالعلاقة (12) [11].

$$m_{i,k}^{TTA} = \frac{d_k^i(t)}{d^i(t)} \quad (12)$$

5- خوارزمية تخصيص الموارد الراديوية المقترحة

تعتمد الخوارزمية المقترحة على تقسيم المستخدمين إلى ثلاث مجموعات حسب أولوية الخدمة التي يطلبونها، وذلك إلى حالات طارئة emergency، ومستخدمين مكفولين guaranteed، ومستخدمين عاديي normal. يجري تخديم الحالات الطارئة بشكل دائم وبدون تأخير، حيث يخصص لهم كمية الموارد الراديوية الضرورية لتأمين احتياجاتهم، وفي حال عدم توافر مصادر راديوية كافية فإنه يجري إنقاص الموارد المخصصة للمستخدمين العاديي.

كما يمكن في حال الضرورة فصل الخدمة عن بعض المستخدمين العاديين أو حتى المكفولين في سبيل تأمين الحالات الطارئة.

يقوم المستخدمون المكفولين بطلب كمية محددة من الموارد الراديوية لا يمكن التنازل عنها، وذلك لقاء دفع تكلفة أعلى من المستخدمين العاديين، ومن ثمّ تعمل الخوارزمية المقترحة على تأمين هذا المقدار من الموارد الراديوية لهؤلاء المستخدمين على حساب المستخدمين العاديين.

كما يُقسم المستخدمون العاديون إلى ثلاث مجموعات وفقاً لمتطلبات الخدمة، وبذلك تخصص الموارد الراديوية بشكل غير متساوي بين المستخدمين، تبعاً لاحتياجات كل خدمة. وقد قمنا بتقسيم الخدمات إلى ثلاث مجموعات كما يأتي:

- المجموعة الأولى: وتضم تطبيقات المحادثة chat، وخدمات الرسائل القصيرة SMS، وتصفح الوب web browsing، وتتطلب حوالي 32Kbps.
 - المجموعة الثانية: وتضم تطبيقات الصوت مثل المهاتفة بوساطة بروتوكول الإنترنت VOIP، وتتطلب 64Kbps تقريباً.
 - المجموعة الثالثة: فهي تتضمن تطبيقات الفيديو ومنها، المؤتمرات الفيديوية video conferencing، والفيديو عبر بروتوكول الإنترنت video over IP، والبث الفيديوي video streaming، وتتطلب من 0.5Mbps وحتى 20Mbps.
- وبيّن الجدول (1) المجموعات الثلاث مع الرمز المخصص لكل مجموعة.

الجدول (1): مجموعات الخدمات مع الرمز المخصص لكل مجموعة

الرمز	الخدمة	المجموعة
011	محادثة chat	الأولى
012	خدمة رسائل قصيرة SMS	
013	تصفح الوب web browsing	
021	المهاتفة بوساطة بروتوكول الإنترنت VOIP	الثانية
031	الدفقية الفيديوية video streaming	الثالثة
032	الفيديو عبر بروتوكول الإنترنت video over IP	
033	المؤتمرات الفيديوية video conferencing	

آلية عمل الخوارزمية

أولاً: تحديد نوع الخدمة طوارئ، أم مكفولة، أم عادية، حيث قمنا بتخصيص الرمز (*) للطوارئ، و (#) للمستخدمين المكفولين، و (0) للمستخدمين العاديين.

ثانياً: إذا كانت الخدمة طوارئ عندها نناقش حالتين:

- وجود مصادر راديوية كافية لتأمين الخدمة، وعندها يجري تخصيص كمية الموارد المطلوبة.
- عدم وجود مصادر راديوية كافية، وعندها نقوم بإنقاص الموارد المخصصة للمستخدمين العاديين وذلك لتأمين المطلوب.

ثالثاً: في حال مستخدم مكفول، عندها يجري تحديد مقدار الموارد الراديوية التي يحتاجها، ويجري تأمينها حتى إذا اضطر الأمر إلى إنقاص الموارد المخصصة للمستخدمين العاديين.

رابعاً: من أجل الخدمات العادية، يجري تحديد المجموعة التي تنتمي إليها الخدمة بوساطة الرمز المحدد لكل خدمة.

خامساً: يُحدد مقدار الموارد الراديوية المناسبة وفقاً للمجموعة وهنا نميز حالتين:

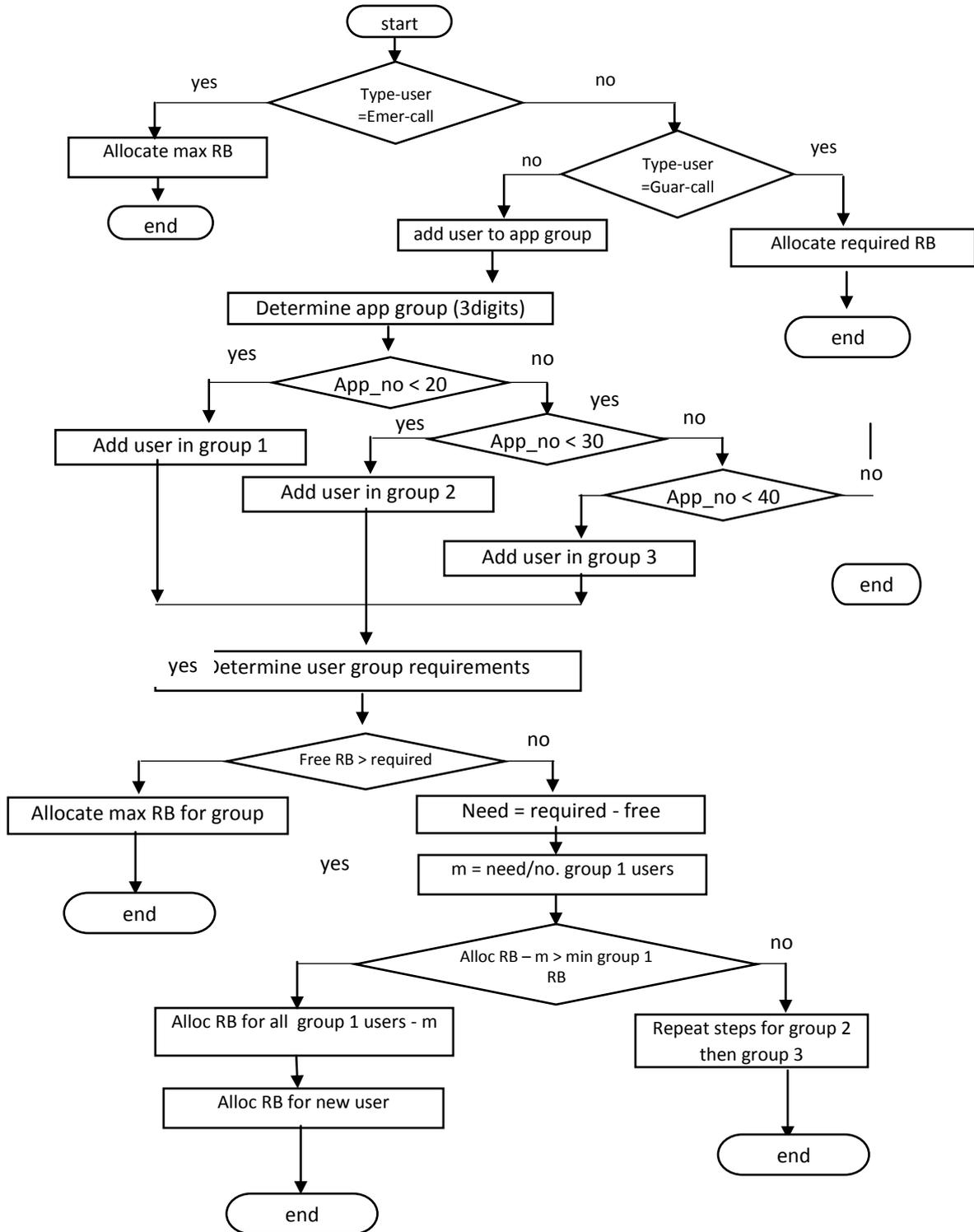
- ثمة مصادر راديوية كافية وعندها يجري تخصيص القيمة العظمى للمصادر المحددة للمجموعة مباشرة للمستخدم.
 - عدم توافر مصادر راديوية كافية، وفي هذه الحالة يجري إنقاص الموارد المخصصة لمستخدمي المجموعة الأولى (الخدمات النصية)، شريطة ألا تقل الموارد المخصصة لهؤلاء المستخدمين عن قيمة دنيا محددة. في حال الوصول إلى القيمة الدنيا، عندها يجري تأمين الموارد المطلوبة من مستخدمي المجموعة الثانية (الخدمات الصوتية)، وفي حال الوصول إلى القيمة الدنيا يجري الانتقال إلى مستخدمي المجموعة الثالثة (خدمات الفيديو).
- عندما يخصص جميع المستخدمين العاديين في المجموعات الثلاث بأدنى قيمة مقبولة، يرفض طلب أي مستخدم جديد.

يوجد 100 نمط للعمل في منظومات الأمواج الميليمترية، حيث قمنا باختيار 10 من هذه الأنماط، حيث يبين الجدول (2) عدد كتل الموارد الراديوية الخاصة بكل نمط من الأنماط العشرة من أجل حيز زمني time slot واحد قدره 0.5 ms، ومن أجل إطار frame إرسال واحد طوله 10 ms.

الجدول (2) : عدد كتل الموارد الراديوية الخاصة بأنماط الأمواج الميليمترية المختلفة [12].

العدد الأعظمي من كتل الموارد RBs	عرض مجال القناة (MHz)
240	12
400	20
640	32
960	48
1040	52
1280	64
1440	72
1600	80
1840	92
2000	100

وبيّن الشكل (2) المخطط التدفقي للخوارزمية المقترحة.



الشكل (2) : المخطط التدفقي للخوارزمية المقترحة

النتائج والمناقشة

استخدمنا للحصول على النتائج محاكي الشبكات NS3 النسخة 3.24، وذلك ضمن بيئة تشغيل مفتوحة المصدر لينوكس توزيع أوبنتو (Ubuntu 14.0.4)، منصّب على حاسوب من نوع دل إنسبيرون DELL Inspiron 3521، له المواصفات الآتية:

معالج : Intel(R) Core(TM) i3-3217U CPU @ 1.80GHZ

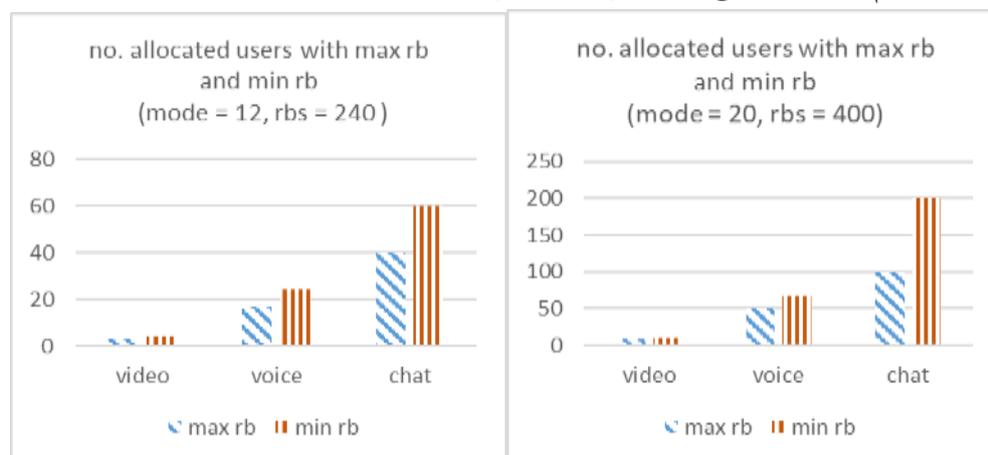
ذاكرة مثبتة RAM : 4 GB

– أولاً: قمنا بدراسة عدد المستخدمين الممكن تخصيصهم بالقيمة العظمى max للمصادر الراديوية المخصصة لكل تطبيق والقيمة الصغرى min، وذلك من أجل الأنماط المختلفة لمنظومة الأمواج الميليمترية. يبيّن الجدول (3) القيم العظمى والصغرى للكتل الراديوية المخصصة لكل تطبيق.

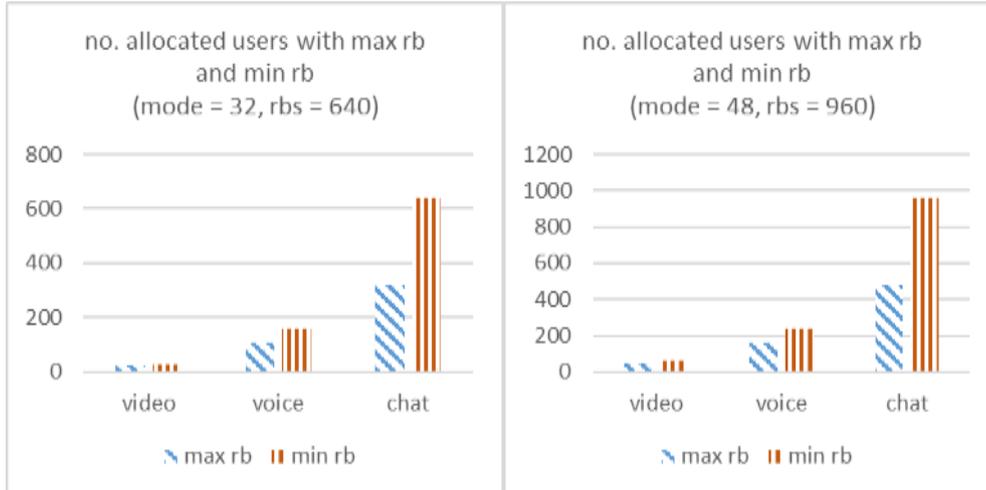
الجدول (3): القيم العظمى والصغرى للموارد الراديوية الخاصة بكل تطبيق.

Mode	Total RBs	chat		voice		Video	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max
12	240	4	6	10	14	64	68
20	400	2	4	6	8	38	42
32	640	2	4	4	6	24	28
48	960	1	2	4	6	16	20
52	1040	1	2	2	4	16	20
64	1280	1	2	2	4	12	16
72	1440	1	2	2	4	12	16
80	1600	1	2	2	4	10	12
92	1840	1	2	2	4	10	12
100	2000	1	2	2	4	8	10

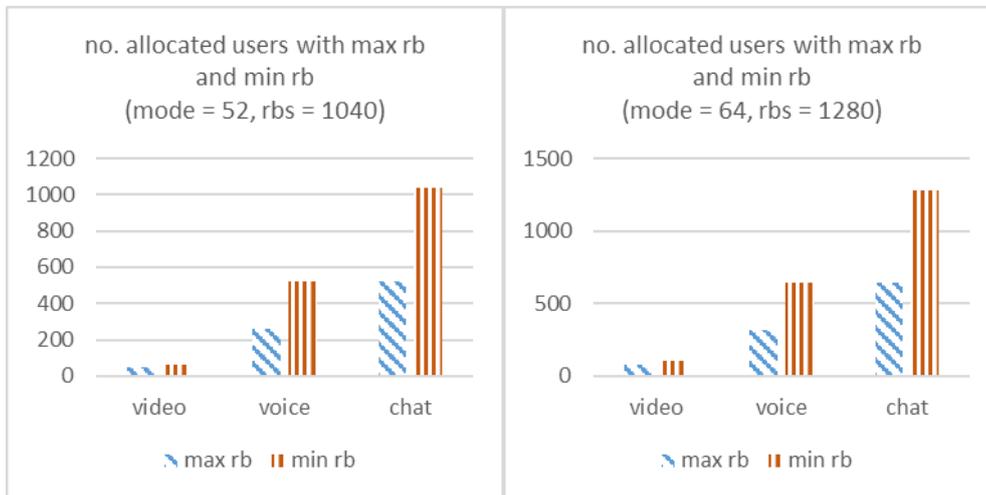
يبين الشكل (3) عدد المستخدمين الممكن تخصيصهم بالقيمة العظمى أو الصغرى للكتل الراديوية من أجل نمطي عمل الأمواج الميليمترية 12 و 20. في حين يبيّن الشكل (4) عدد المستخدمين الممكن تخصيصهم بالقيمة العظمى أو الصغرى للكتل الراديوية من أجل النمطين 32 و 48. كما يبيّن الشكل (5) عدد المستخدمين الممكن تخصيصهم بالقيمة العظمى أو الصغرى للكتل الراديوية من أجل النمطين 52 و 64. ويبين الشكل (6) عدد المستخدمين الممكن تخصيصهم بالقيمة العظمى أو الصغرى للكتل الراديوية من أجل النمطين 72 و 80. كما يبيّن الشكل (7) عدد المستخدمين الممكن تخصيصهم بالقيمة العظمى أو الصغرى للكتل الراديوية من أجل النمطين 92 و 100.



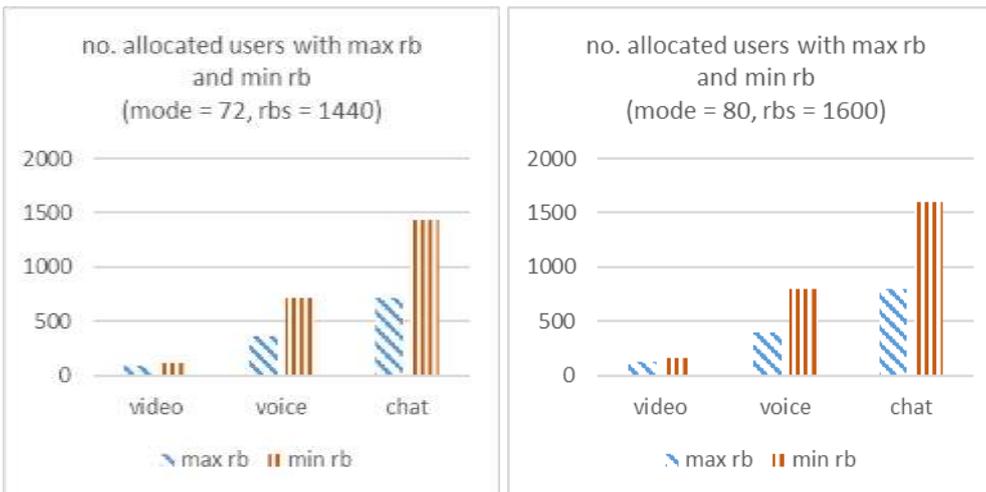
الشكل (3) : عدد المستخدمين الممكن تخصيصهم بالقيمة العظمى أو الصغرى للكتل الراديوية rb من أجل النمطين 12 و 20.



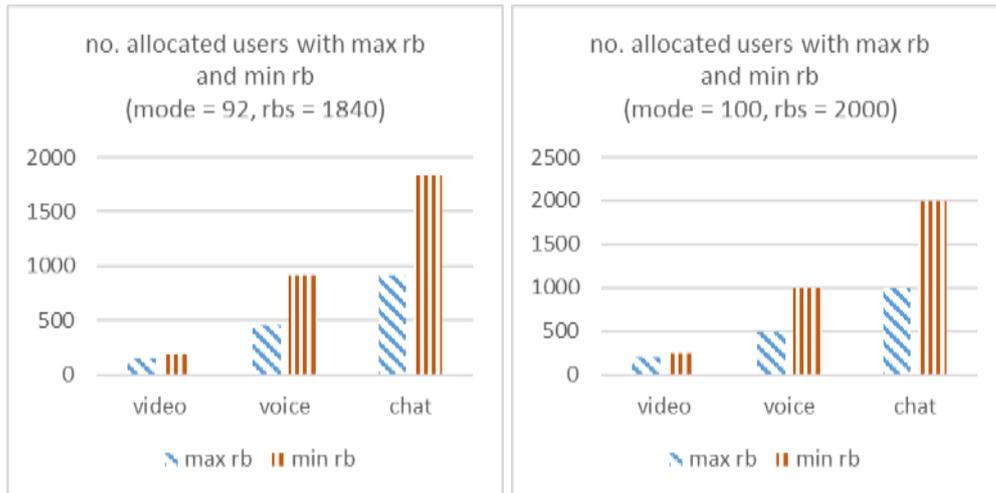
الشكل (4) : عدد المستخدمين الممكن تخصيصهم بالقيمة العظمى أو الصغرى للكنتل الراديوية rb من أجل النمطين 32 و 48.



الشكل (5) : عدد المستخدمين الممكن تخصيصهم بالقيمة العظمى أو الصغرى للكنتل الراديوية rb من أجل النمطين 52 و 64.

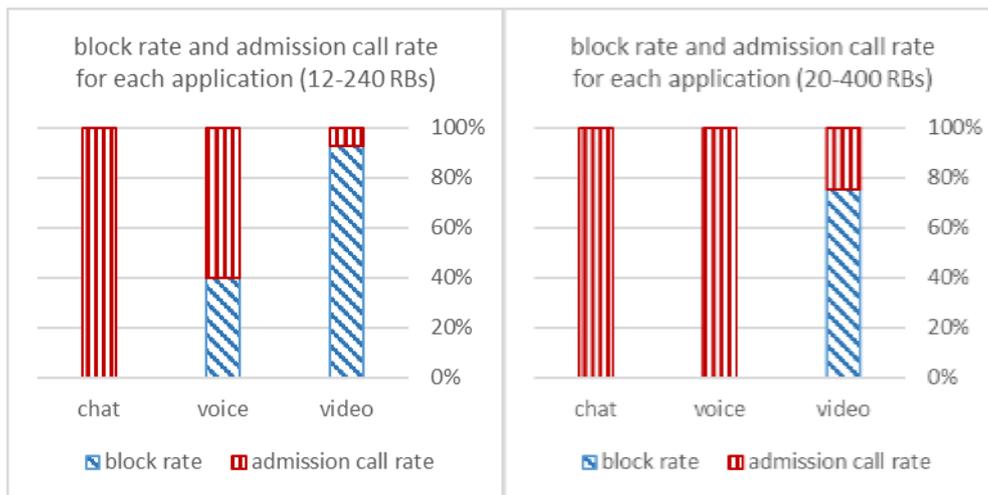


الشكل (6) : عدد المستخدمين الممكن تخصيصهم بالقيمة العظمى أو الصغرى للكنتل الراديوية rb من أجل النمطين 72 و 80.

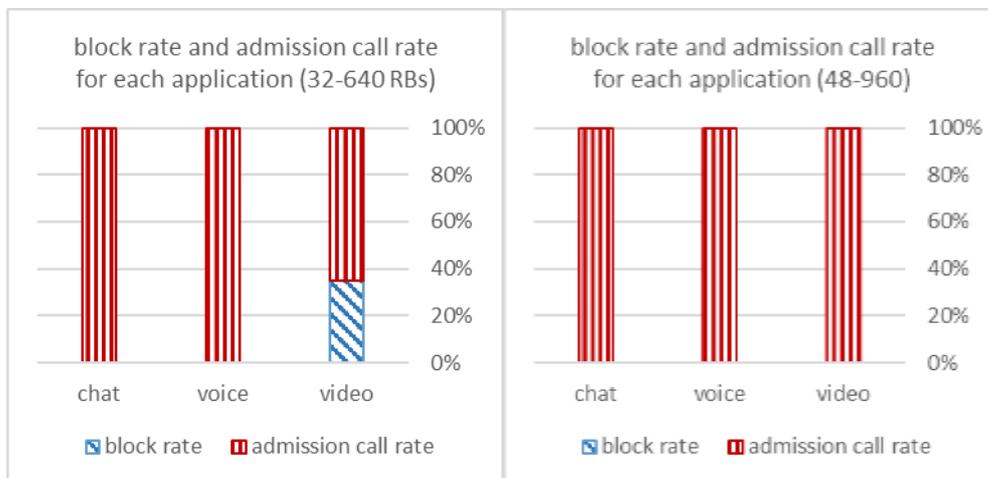


الشكل (7) : عدد المستخدمين الممكن تخصيصهم بالقيمة العظمى أو الصغرى للكتل الراديوية rb من أجل النمطين 92 و 100.

- ثانياً : قمنا بتحديد معدل الصد block rate ومعدل قبول المكالمات call admission rate لأنماط الأمواج الميلترية mmWave والتطبيقات المختلفة، وذلك من أجل 40 مستخدم (الشكلان 8 و 9).



الشكل (8) : معدل الصد ومعدل قبول المكالمات في حالة 40 مستخدم ومن أجل النمطين 12 و 20.



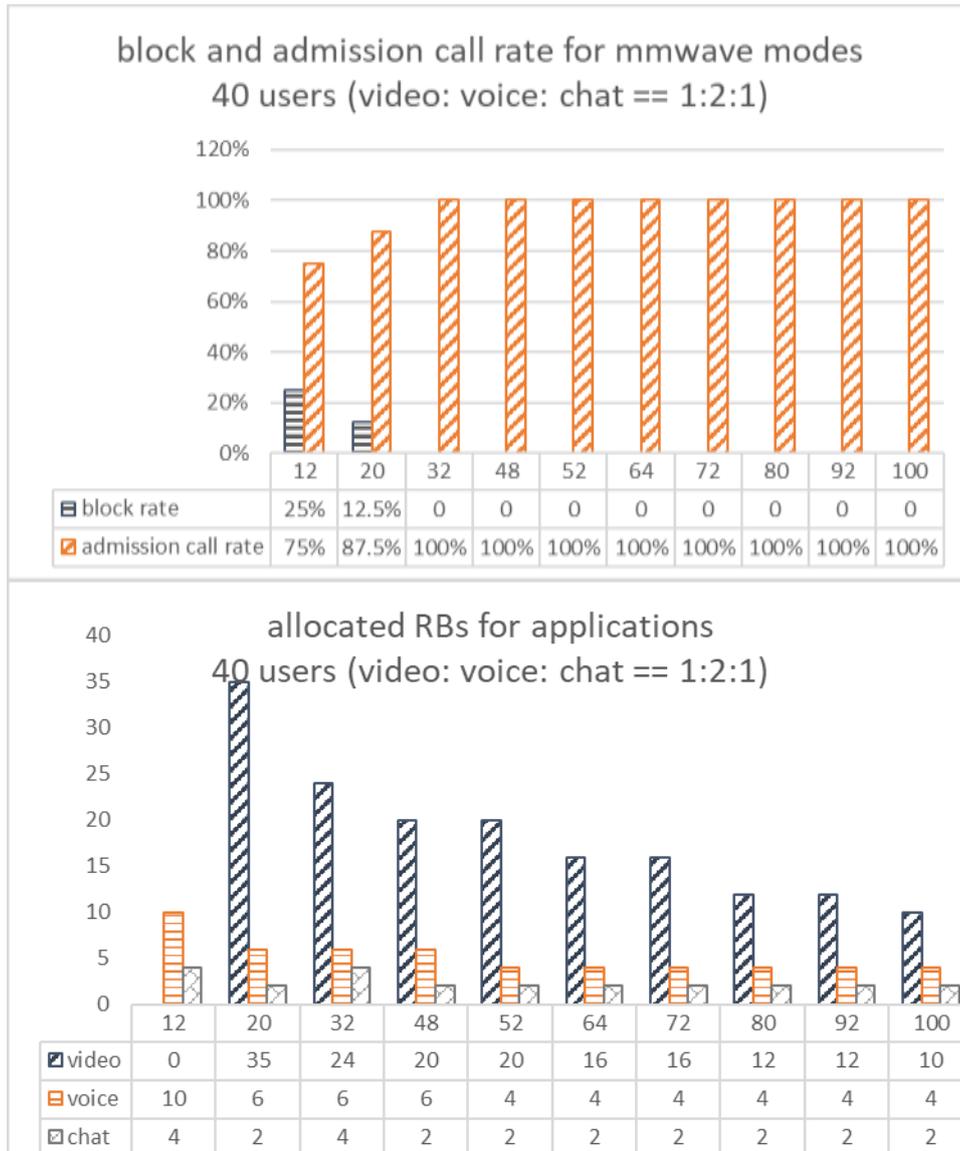
الشكل (9) : معدل الصد ومعدل قبول المكالمات في حالة 40 مستخدم ومن أجل النمطين 32 و 48.

- ثالثاً : قمنا بتحديد معدل الصد ومعدل قبول المكالمات وكذلك عدد كتل الموارد الراديوية المخصصة لكل تطبيق من أجل 40 مستخدم، في ثلاث حالات مختلفة من معدل المستخدم والمبيّنة في الجدول (4).

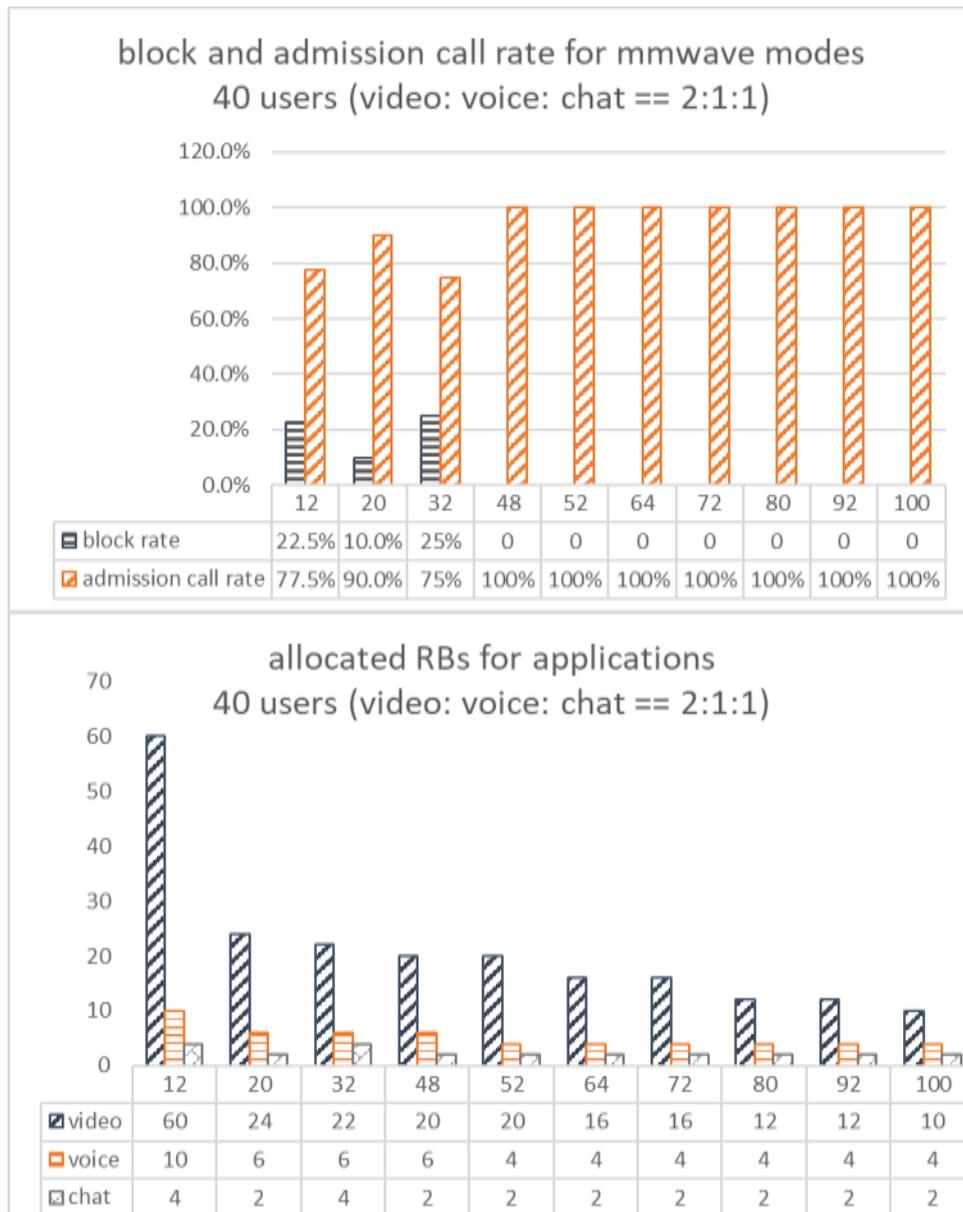
الجدول (4): قيم معدلات المستخدمين من حيث الفيديو/الصوت/المحادثة .

User rate	video	voice	chat
1:2:1	10	20	10
1:1:2	10	10	20
2:1:1	20	10	10

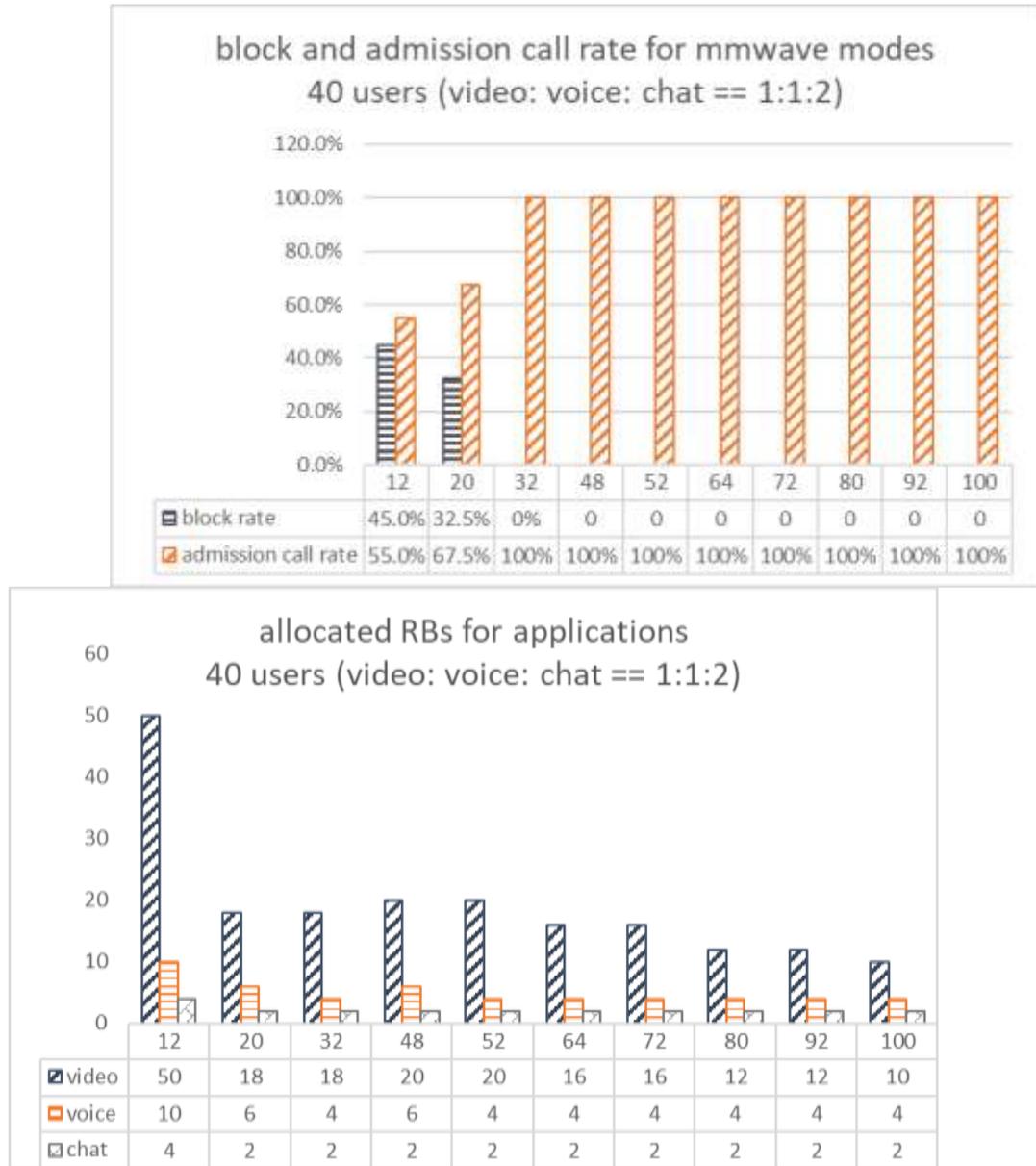
تبيّن الأشكال 10 و 11 و 12 معدلات صد المكالمات ومعدلات القبول وعدد كتل الموارد المخصصة من أجل التطبيقات الثلاث المدروسة ومن أجل 40 مستخدم ومن أجل نسب معدلات المستخدمين الثلاث المعطاة في الجدول (4).



الشكل (10) : معدل الصد ومعدل قبول المكالمات وعدد كتل الموارد المخصصة في حالة 40 مستخدم وبمعدل 1:2:1.



الشكل (11) : معدل الصد ومعدل قبول المكالمات وعدد كتل الموارد المخصصة في حالة 40 مستخدم وبمعدل 1:1:2.



الشكل (12) : معدل الصد ومعدل قبول المكالمات وعدد كتل الموارد المخصصة في حالة 20 مستخدم وبمعدل 2:1:1.

الاستنتاجات والتوصيات

يمكن استخلاص النتائج الآتية من المنحنيات:

- أمكن من أجل منظومة اتصالات بالأموح المليمترية mmWave تعمل بنمط 12، تخصيص 40 مكالمة نصية أو 17 مكالمة صوتية أو 3 مكالمات فيديو وذلك بالقيمة العظمى لكتل الموارد الراديوية المخصصة للمجموعة (التطبيق)، ضمن إطار إرسال واحد بطول 10ms.

- كان عدد المكالمات النصية المخصصة بالقيمة العظمى للمصادر الراديوية، من أجل نمط 20، يساوي 100 مكالمات نصية أما المكالمات الصوتية فهي 50 مكالمات والفيديوية 20 مكالمات فقط. ومن أجل نمط 48، خصصنا 480 مكالمات نصية، أو 160 مكالمات صوتية، أو 48 مكالمات فيديوية.
- وصل عدد المكالمات النصية إلى 640 والصوتية إلى 320 مكالمات والفيديوية إلى 80 مكالمات من أجل نمط 64 و 800 مكالمات من أجل عرض مجال نمط 80. أما المكالمات الصوتية فهي 400 مكالمات والفيديوية 133 مكالمات.
- من أجل نمط 100، كان عدد المكالمات النصية 1000 و الصوتية 500، أما الفيديوية فهي 200 مكالمات.
- كان معدل قبول المكالمات النصية 100% في جميع أنماط عمل منظومة mmWave.
- وصل معدل قبول المكالمات الصوتية إلى 60% من أجل النمط 12 و 100% في باقي الأنماط.
- في حالة المكالمات الفيديوية تراوح معدل قبول المكالمات من 7.5% من أجل النمط 12 إلى 65% من أجل نمط 32، وصولاً إلى 100% لباقي الأنماط.
- أمكن تحقيق معدل قبول مكالمات تراوح بين 75% إلى 100% من أجل 40 مستخدم موزعة بين التطبيقات الثلاث بمعدل 1:2:1 (محادثة/صوت/فيديو)، وكانت كمية الموارد الراديوية المخصصة بين 10 و 35 للفيديو، وبين 4 و 10 للصوت، وبين 2 و 4 للمكالمات النصية.
- من أجل 40 مستخدم موزعين بنسبة 1:1:2 (محادثة/صوت/فيديو) بين التطبيقات، كان معدل قبول مكالمات بين 55% و 100%. وجرى تخصيص مقدار موارد راديوية بين 10 و 50 للفيديو، وبين 4 و 10 للصوت، وبين 2 و 4 للمكالمات النصية.
- عند توزيع المستخدمين العشرين بين التطبيقات بنسبة 1:1:2 (محادثة/صوت/فيديو)، كان معدل قبول المكالمات بين 75% و 100%، وكتل الموارد الراديوية المخصصة هي 10-60، 4-10، 2-4، من أجل الفيديو والصوت والمكالمات النصية على الترتيب.

المراجع

1. MEZZAVILLA, M. et al. - *End-to-End Simulation of 5G mmWave Networks*. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2018, 25p.
2. FORD, R. et al. - *A Framework for End-to-End Evaluation of 5G mmWave Cellular Networks in ns-3*. Proceedings of the Workshop on ns-3 (WNS3), 2016, pp. 85-92.
3. LOMBARDI, R - *Microwave and Millimetre-wave for 5G Transport*. White Paper, ETSI, First edition, No. 25, 2018, 16 p.
4. LI, L et al. - *mmWave communications for 5G: Implementation Challenges and Advances*. Science China Press and Springer-Verlag, Vol. 61, 2018, 19 p.
5. LI, J et al. - *How to Mobilize mmWave: A Joint Beam and Channel Tracking Approach*. IEEE ICASSP, 2018, 13p.
6. RAPPAPORT T S, *Overview of Millimeter Wave Communications for Fifth-Generation (5G) Wireless Networks-with a focus on Propagation Models*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Special Issue on 5G, 2017, 15p.
7. XIAO M et al., *Millimeter Wave Communications for Future Mobile Networks*, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 35, Issue. 9, 2017, 25p.

8. LI Y et al. - *Radio Resource Management Considerations for 5G Millimeter Wave Backhaul and Access Networks*, IEEE Communications Magazine, Vol. 55, Issue 6, 2017, pp. 86-92.
9. MEZZAVILLA M - *5G mmWave Module for ns-3 Network Simulator*. Proc. ACM Int. Conf. MSWIM, Nov., 2015, pp. 283–290.
10. FAZLIU, Z L - *Resource and Power Management in Next Generation Networks*, PhD Thesis, Politecnico Di Torino, 2017, 141 p.
11. SINGH, D and SINGH P - *Radio Resource Scheduling in 3GPP LTE: A Review*. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), Vol. 4, Issue 6, 2013, pp. 2405-2411.
12. CELLCO PARTNERSHIP, *Verizon 5G TF; Air Interface Working Group; Verizon 5th Generation Radio Access; Physical layer procedures (Release 1)*. Verizon Wireless, Technical report, 2016, 10 p.