

خوارزمية تمييزية لتخصيص الموارد ذاتية التنظيم بناءً على مخطط إعادة استخدام التردد الجزئي لتحسين معدل الخدمة والإنتاجية في شبكات LTE-A الهجينة

طارق الأشهب¹، د. فريز عبود²، د. عبد الكريم السالم³

¹طالب دكتوراه - قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

²أستاذ - قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

³أستاذ - قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث.

الملخص:

يعالج هذا البحث مسألة إدارة الموارد الراديوية Radio Resource Management (RRM) في الشبكات الهجينة (Het Nets) والمكونة من خلايا ماكرو Macro Cells وخلايا صغيرة Small Cells (فيتمو Femto - بيكو Pico) لنظام LTE-A. يتجلى الهدف الرئيسي لنشر خلايا فيتمو وبيكو، جنباً إلى جنب مع خلايا ماكرو في الشبكة الهجينة، في تحسين التغطية، وسعة الشبكة، وجودة الخدمة للمستخدمين الذين يطلبون الاتصال وخاصة مع ازدياد أعدادهم، في الوقت نفسه تصبح الآلية التقليدية في تخصيص الموارد الراديوية للمستخدمين غير متناسبة مع تقنيات تنسيق التداخل المألوفة مثل تقنيات إعادة استخدام التردد الجزئي (FFR) Fractional Frequency Reuse، بالأخذ بالحسبان أنَّ طرائق تخطيط الخلايا الصغيرة عشوائية ولا يكون مركز التحكم في الشبكة على معرفة دورية بأماكن أو مواقع نشرها، ناهيك عن كون مواقع المستخدمين عشوائية أيضاً في مراكز وحواف مناطق التغطية للشبكة، فلا يمكن بالتالي التنبؤ بها لإجراء التخصيص الراديوي المناسب. هذا ما يجعل مسألة تنسيق التداخل وإدارة تخصيص الموارد مسألتين مترابطتين تصميمياً في الشبكات الهجينة. بكلمات أخرى، تُصبح مسألة إدارة الموارد الراديوية أصعب مع ازدياد التداخل بنمطيه Co-Layer و Cross-Layer Interference خاصة مع تخطيط أعداد أكبر من الخلايا الصغيرة وازدياد كثافة المستخدمين. جرى في هذا البحث مراجعة استراتيجيات تخصيص الموارد المتاحة في

تاريخ الإيداع: 2022/12/24

تاريخ القبول: 2022/6/5



حقوق النشر: جامعة دمشق -

سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق

النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA 04

الأدبيات لشبكة LTE-A الهجينة. اقترح بعد ذلك مخطط تخصيص موارد مُنظَّم ذاتياً Self-Organized Reuse Resources Allocation (SORRA) يعتمد على البحث عن أفضل عنقود مميَّز Best Idiosyncratic Cluster من الخلايا يحيط بكل مستخدم على جدا لتنفيذ التخصيص المناسب للموارد المتاحة وفي نفس الوقت للتقليل من تداخل الخلايا في الوصلة الهابطة. وبالتالي، تحسين كلاً من معدّل الخدمة Service Rate، وإنتاجية الشبكة Network Throughput. جرى مقارنة أداء الخوارزمية المقترحة مع المخططات التقليدية مثل إعادة استخدام الطيف الترددي الصارم Strict FFR، والمرن Soft FFR. استُخلِصت نتائج المحاكاة باستخدام منصة ماتلاب MATLAB Platform.

الكلمات المفتاحية: الشبكات الهجينة، إعادة استخدام التردد الجزئي، تخصيص الموارد،

تنسيق التداخل

Idiosyncratic Self-Organized Resources Allocation Algorithm Based On Fractional Frequency Reuse Scheme To Enhance Service Rate And Throughput In LTEA Hetnets

Tarek AL Achhab¹,

Dr. Fariz Abboud², Dr. Abdulkarim Assalem³

¹Graduate student (Ph.D.) – Department of Electronics and Communication Engineering – Faculty of Mechanical and Electrical Engineering – Damascus University.

²Professor - Department of Electronics and Communication Engineering – Faculty of Mechanical and Electrical Engineering – Damascus University.

³Professor - Department of Electronics and Communication Engineering – Faculty of Mechanical and Electrical Engineering – AL Baath University.

Abstract:

This study addresses the issue of Radio Resource Management (RRM) in the Heterogeneous Network (HetNets) consisting of Macro Cells and Small Cells (Femto-Pico) for LTE-A. The main objective of deploying Femto-Pico cells, along with macro cells in HetNets, is to improve coverage, network capacity, and QoS for users who require connectivity, especially with their increasing numbers. However, at the same time, the traditional mechanism of allocating radio resources to users becomes disproportionate to familiar interference coordination techniques such as Fractional Frequency Reuse (FFR), given that planning methods of small cells are often random and the control center is not periodically aware of the locations of their deployment. In addition, user locations are also random at the centers and edges of the network's coverage areas. Therefore, suitable cells cannot be predicted for appropriate radio assignment. This makes interference mitigation and resource allocation management interrelated through design. The issue of radio resource management becomes more difficult with the increase of Co-Layer interference and Cross-Layer interference, especially with planning of ultra-dense small cells and with increase in the density of users. In this study, we reviewed the resource allocation strategies available in the literature for LTE-A HetNets. Next, we proposed a new Self-Organized Reuse Resources Allocation (SORRA) scheme based on the search for the best Idiosyncratic Cluster (IC) of cells surrounding each individual user to implement the appropriate allocation of available resources while simultaneously mitigating interference between cells in downlink. Thus, it improves both the service rate and network throughput. We compared the performance of the proposed SORRA with traditional schemes such as Strict and Soft FFR. the simulation results obtained using MATLAB.

Received: 24/12/2022

Accepted: 5/6/2022

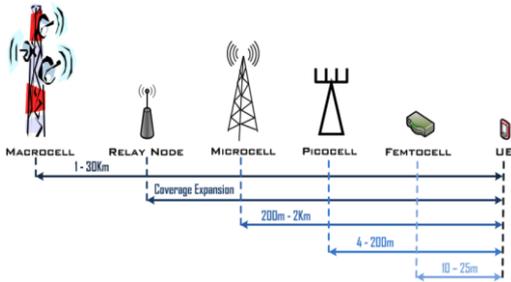


Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

Keywords: Heterogeneous Network, Fractional Frequency Reuse, Resource Allocation, Interference Mitigation.

1. المقدمة:

اللاسلكي. في هذا الصدد، يُعدُّ نشر محطات قاعدية Base Stations (BSs) من النمط فيمتو وبيكو إحدى أهم التحديات لتحقيق أهداف الاتصال الجيد والحصول في نفس الوقت على معدل خدمة وإنتاجية عاليتين. تُعدُّ المحطة القاعدية BS من النمط فيمتو وبيكو عقدة Node اتصال قصيرة مجال التغطية نسبياً (كما يبيّن الشكل (1))، بحيث يمكن للمستخدم نفسه تخطيطها ونشرها بحسب حاجته وأحياناً يمكن أن يجري ذلك بطريقة غير مُتفق عليها مع المُشغّل الرئيسي ممّا يجعل مواقع ارتباطها في الشبكة غير مُتنبأ بها. يُشار عادةً إلى عقدة الخلية الصغيرة (فيمتو أو بيكو) بعقدة اتصال منزلية (HeNB) Home eNB ويُشار إلى عقدة الخلية الماكرو بعقدة كبيرة Macro eNB (MeNB)، ومن مواصفات العقدة HeNB أيضاً أنها تُرسل باستطاعة منخفضة ويمكنها العمل في نفس الطيف الترددي المرخص للمُشغّل. يجري ربط الأجهزة الخاصة بالخلايا الصغيرة بشبكة المُشغّل الخليوي باستخدام خطوط للاتصال بالمجال العريض السلكي من خلال وصلات اتصال سلكية S1 خاصة، لتمثّل هذه الخطوط السلكية طرفيات الربط بين الخلايا الصغيرة والخلايا الكبيرة من جهة وبين مراكز الإدارة في الشبكات الهجينة من جهة أخرى، كما يبيّن الشكل (2)، حيث تجري إدارة الشبكة من خلال كيانات إدارة الشبكة Network Management Entities [3].

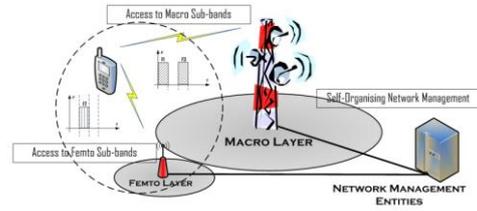


الشكل (1) أنواع خلايا الشبكة بحسب مجال التغطية [3].

انتشرت مؤخراً وبشكل متسارع تطبيقات الاتصالات اللاسلكية المتنوعة وظهور الهواتف الذكية وشبكات التواصل الاجتماعية وغيرها، وتوسّعت وظائف الاتصال بشكل كبير ليزداد معها مستوى حركة عبور معطيات الصوت والصورة والفيديو والنصوص. ومن المتوقّع أنّ حوالي 50% من حركة معطيات الصوت و70% من حركة معطيات الفيديو ستنشأ مصادرها في المستقبل القريب وبشكل حصري من مستخدمي الهواتف النقالة الداخليين Indoor Users. ولكن بالمقابل، ستزداد المفايد في هذه البيئات والأوساط والناجمة عن تخامد الإشارة Signal Attenuation؛ بمعنى فقد الانتشار المترافق مع خفوت تعدّد المسارات السريع Fast-Multipath Fading والخفوت البطيء الناتج عن الظل Shadow Fading Losses، مما يسبب تدهور في نسبة الإشارة إلى إشارتي الضجيج والتداخل Signal-to-Interference-Noise-Ratio (SINR) في هذه الأماكن المغلقة، وبسبب هذا كلّه غالباً ما يعاني المستخدمون الداخليون "كثيفو العدد" من تدهور جودة الخدمة QoS [1]. في هذا السياق، يُمثّل نظام الاتصال LTE-A المبني على أساس الشبكات الهجينة HetNets نقطة الوصل الرئيسية أو الحد الفاصل للانتقال بين جيلي الاتصالات الرابع 4G والخامس 5G، وهو ما يمكن اعتباره الركيزة الأساسية للبدء في توطيد وبناء شبكات الجيل الخامس للهاتف النقال خلال الوقت الحالي، حيث يجري الانتقال إلى حالة نظام 5G انطلاقاً من شبكة 4G باستخدام عمليات تخطيط ونشر Deployment للخلايا الصغيرة مثل خلايا الفيمتو Femto، والبيكو Pico. ومن المتوقّع أن يبدأ بذلك المُشغّل الخليوي الثالث "وفا" في سورية بغاية العام 2022 الحالي [2]. وبالتالي، لتلبية متطلبات معدّل البيانات العالي High Bit Rate، تزداد الحاجة إلى آليات فعّالة لتخصيص الموارد ومعالجة مسألة تقليل التداخل Interference Mitigation في بيئة الاتصال

مجالات تغطية الخلايا الصغيرة. ومع ذلك، فإن الحصول على مثل هذه الشبكة في كل مكان من المنطقة الجغرافية التي يجري فيها تخطيط ونشر تجهيزات الشبكة يحتاج إلى خطة فعالة لتخصيص الموارد وتنسيق التداخل وتحقيق التعاون الوثيق

والمتمتع عليه والمتسق بين طبقة الخلايا الماكرو Macro Layer والمُعَرَّفَة على أنها طبقة الشبكة الأولى First Network Tier وطبقة الخلايا الصغيرة Small Layer الإضافية المُعَرَّفَة على أنها طبقة الشبكة الثانية Second Network Tier من خلال استخدام تقانات التنظيم الذاتي Self-Organizing Techniques. من الواضح جداً بالنسبة لمثل هذه الشبكة الفيمتو-بيكو الكليّة الهجينة أنّ الطيف الترددي المتاح يجب أن يُقسّم بشكل عادل بين طبقتي الشبكة هاتين؛ أي لتخديم أكبر عدد ممكن من المستخدمين، ولتحسين أداء اتصال أفضية الطيف الترددي المتاحة من جهة (تحقيق أكبر قدر ممكن من الإنتاجية)، ومع مراعاة قضايا سعة الشبكة لتخديم المستخدمين من جهة أخرى (رفع معدّل الخدمة). تؤكد هذه الحقيقة ضرورة وجود إدارة موارد ذكية قادرة على تخصيص الموارد في الوقت المناسب للمستخدمين المناسبين وبحسب الخلايا المناسبة لهؤلاء المستخدمين في الشبكة ككل. لذلك، فإن التحدي المتوقع لشبكة LTE-A HetNets هو توفير إدارة تعاونية للموارد وتخصيص الأفضية والتحكّم في النفاذ لكل من مجموعتي مستخدمي Macro Cells Users (MUE) ومجموعة المستخدمين المرتبطين بالمحطات القاعدية للخلايا الصغيرة سواء أكانت خليّة فيمتو أو بيكو Pico/Femto Cells Users (PUE, FUE). يمكن تخصيص الموارد في شبكة Femto/Pico Cell بشكل مشابه لطريق التخصيص المتبعة في شبكة الماكرو التقليدية حيث يُستخدَم نفس عرض المجال الترددي كون مجال التغطية لهذه الخلايا محدود، ولكن يجب القيام بذلك بطريقة تُجنّب التداخل فيما بين هذه الخلايا وبين



الشكل (2) طريقة الربط الطرفي بين خلايا الشبكة ومعداتتها [3].

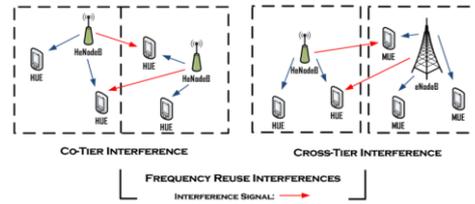
يُعدّ الغرض الأساسي من النشر الكثيف لعقد الخلايا الصغيرة Ultra-Dense Small Cells تحسين السعة Capacity (من خلال تحقيق معدّلات نقل بيانات أعلى نتيجة قرب المستخدمين الداخليين من منطقة التغطية وتوسيع آليّة إعادة استخدام الموارد؛ إعادة استخدام المجال الترددي)، وتحسين التغطية (من خلال تغطية المناطق "الميتة" التي تشكّلت بسبب تغلغل إشارة الماكرو غير الكافي للوصول إلى المستخدم) في البيئة الداخلية [4]. تعمل شبكة الخلايا الصغيرة في نظام LTE-A HetNets على تحسين عمر البطارية والمساهمة في اتصالات أكثر ملائمة للبيئة بما يطلق عليه مصطلح Greener Communication. علاوة على ذلك، تقوم HeNBs بزيادة حركة عبور المعطيات الداخلية مقارنة بخلايا الماكرو، مما يزيد من قدرة المحطات القاعدية الكليّة على التخديم في الشبكة، وبالتالي تقليل النفقات الاقتصادية (CAPEX) والتشغيلية (OPEX) لمُشغّل الشبكة. وبالتالي، فإنّ شبكات Macro-Femto/Pico هي شبكات مفيدة لكل من المُشغّل والمستخدم العميل على حدٍ سواء [5]. إذن، يُعدّ اقتراح محطات خلايا HeNB ضمن بنية شبكة هجينة حلاً مناسباً لزيادة سعة الشبكة لمستخدمي الهواتف النقالة [6]. ويمكن التعبير عن التطبيق الرئيسي لخلايا الفيمتو-بيكو على أنّه جزء من الشبكة لتفريغ ازدحام المستخدم من المحطات القاعدية للخلايا الماكرو العامة MeNB والانتقال إلى حالة تخديم من محطات خلايا HeNB، وذلك من خلال إنشاء نقاط شبكة قصيرة المجال داخل الشبكة بأكملها ثمّئها

يُحسّن من إنتاجية الشبكة ومعدّل الخدمة بشكل واضح. بكل الأحوال، وبمراجعة المخططات المختلفة المتاحة في الأدبيات (الفقرة التالية)، تبين أنّ مستخدمين معينين في الشبكة عندما يطلبون الاتصال في وقت عشوائي وتكون شدة الاستطاعة المستقبلية من خلية ما فيمتو أو بيكو أو ماكرو مناسبة، فإنّ الطريقة التقليدية في التخصيص سوف تحرم هؤلاء المستخدمين من موارد الطيف الترددي وبالتالي رفض الاتصال فيما لو جرى اعتماد آلية ربط راديوي مبنية فقط على قيود مستوى شدة الاستطاعة المستقبلية RSRP. مع هذا الدافع، نقترح مخطط SORRA لشبكة LTE-A HetNet، والتي توفر أقصى حد من الإنتاجية ومعدّل الخدمة مقارنة بآلية التخصيص التقليدية. إنّ السمة المميّزة لمخططنا هي أنّه بالإضافة إلى التنسيق العالي للتداخل والذي توفره أصلاً خوارزمية FFR، فإنّه يضمن العدالة في تخصيص الموارد خاصّة مع كثافة وجود الخلايا الصغيرة في محيط المستخدم الجديد الذي يطلب الاتصال. وتجدر الإشارة إلى أنّه على الرغم من قيامنا هنا بتوضيح المخطط المقترح في إطار شبكة النفاذ المتعدّد بتقسيم التردد المتعامد (OFDMA) والمعتمّدة في نظام التطوّر طويل الأمد المتقدّم (LTE-A)، إلا أنّ نموذجنا هذا قابل للتطبيق على أي نظام خليوي متقدّم عموماً، إشارة منّا هنا إلى إمكانية تطبيقه في شبكات الجيل الخامس أو تطبيقه في المراحل الأولى لعملية تطوير الشبكة من الجيل الرابع إلى الجيل الخامس كما هو مطلوب عند مُشغّل الاتصالات الخليوية "وفا". أيضاً، يوفر مخططنا المقترح هنا إطاراً عامّاً لتخصيص الموارد المنظّمة ذاتياً، والتي يمكن تطبيقها على أيّة شبكة هجينة.

2. الدراسات المرجعية:

تتمثّل المقايضة Trade-Off الأساسية في تحقيق إدارة فعّالة للموارد مع حدود منخفضة من التداخل في شبكات LTE-A الهجينة في ضمان أمرين اثنين: I- التداخل الناجم عن وجود المحطات HeNBs لا يؤثر بشكل كبير على مستخدم

خلايا الماكرو عند مناطق الحواف واقتراب هذه الخلايا من بعضها جغرافياً، وذلك باعتماد نفس آليات إعادة الاستخدام التقليدية Strict and Soft FFR. ولكن هذا يجعل إدارة الموارد الراديوية (RRM) في الشبكة ككل أمراً صعباً خاصة مع شح الموارد الراديوية المتاحة للمستخدمين MUEs. ونظراً لأنّ الخلايا الماكرو والخلايا الصغيرة تشترك في الموارد الراديوية المتاحة (عرض المجال الترددي)، فقد يتسبّب ذلك في حدوث تداخل عابر للطبقة (بين الخلية الصغيرة والخلية الماكرو Cross-Layer (Tier) Interference) وتداخل طبقة مشتركة (بين الخلايا الماكرو وبعضها مع بعض وبينها وبين الخلايا الصغيرة بعضها مع بعض (Co-Layer(Tire) Interference) كما يبيّن الشكل (3). من الناحية المثالية، يخفّف التخصيص المرن Soft FFR للموارد من نوعي التداخل هذين ولكنه يؤدي إلى ضعف كفاءة استخدام الطيف الترددي نظراً لاستخدامه عرض مجال صغير في حواف الخلايا الماكرو.



الشكل (3) التداخل البيني Cross والمشارك Co بين خلايا الشبكة [3]. عموماً، جرت معالجة تقليل التداخل عبر الطبقات بشكل جيّد بما فيه الكفاية في الأدبيات وقد بيّن البحث [7] صلاحية تقنية إعادة التوزيع FFR بنوعها Strict و Soft في تحقيق تداخل أصغري عبر الطبقات. لذلك، نفترض في هذا البحث أنّ التداخل عبر الطبقات يجري تقليله باستخدام أحد المخططات Strict FFR, Soft FFR والتكرير على آلية تخصيص الموارد لكل مستخدم على جِدَا في الشبكة من خلال البحث عن الخلية المناسبة سواء أكانت خلية ماكرو أو فيمتو أو بيكو. وسنجد أنّ مخططنا المقترح لتخصيص الموارد ذاتية التنظيم SORRA يُقلّل التداخل عبر الطبقات بطريقة ضمنية وفي نفس الوقت

بالخلايا الفيمتو هو نفسه الموارد الراديوية المستخدمة لمنطقة المركز للخلايا الماكرو المجاورة (أي الخلايا الصغيرة التي تقع بالقرب من محطات MeNB) وفي نفس الوقت اعتماد تخصيص مشترك للخلايا الخارجية (الواقعة بعيداً عن محطات MeNB عند حوافها وأبعد من الحواف). تضمن هذه الطريقة المقترحة التقليل من التداخل المؤثر على المستخدمين FUEs القريبين من محطات MeNB. من جهة أخرى، اقترح التقسيم الديناميكي للموارد Dynamic resource partitioning لتجنب التداخل من النمط Cross-Layer في البحث [11]، حيث تُمنع الخلايا الصغيرة من النفاذ (عبر التوصيل السلكي) إلى تلك الموارد الراديوية المخصصة لمستخدمي MUEs. وأما في البحث [12]، اقترح المؤلفون طريقة منخفضة التعقيد الحسابي مقارنة بالأعمال السابقة لتجنب التداخل العشوائي الحاصل بين الخلايا الصغيرة أي التداخل Co-Layer. في هذا البحث جرى تخصيص مجموعة فرعية عشوائية من الموارد لكل خلية صغيرة مع الأخذ بالحسبان فرضية أنه من غير المحتمل أن تستخدم الخلايا الصغيرة نفس الموارد (من نفس عرض الحزمة) مطابقة لتلك المستخدمة في مجاورتها من الخلايا الصغيرة. في البحث [13]، اقترحت خوارزمية لإدارة الموارد مستندة على موقع المستخدم FUE والتي تسمح للخلية الفيمتو بإعادة استخدام موارد الخلية الماكرو لزيادة إعادة الاستخدام المكاني. قدّم المؤلفون مخطط تقسيم يعتمد على تخصيص الموارد لخلايا الفيمتو فقط التي لا تتطلب تنسيق للتداخل. وأما في [14]، اقترحت خوارزميات لتجنب التداخل ذي النوع Co-Layer تلك القائمة على تنسيق التدخل وإعادة استخدام التردد التكريري Adaptive Frequency Reuse (AFR). هنا اعتمد في البداية التخصيص المتعامد للموارد للخلايا الصغيرة ثم جرى توزيع ترددات إعادة الاستخدام القائمة على تنسيق التداخل لتحسين كفاءة الطيف. يضمن هذا التنسيق بين خلايا الفيمتو أن التداخل من النوع Co-Layer يظل أقل من المستوى المسموح

الخلايا الماكرو (MUEs) المرتبطين بالمحطات MeNBs ولا على مستخدمي المحطات HeNB المجاورة (أي PUEs و FUEs) و-2 يجب أن تكون استطاعة الإرسال للخلية الصغيرة فيمتو أو يكو كافية لضمان تلبية متطلبات معدل نقل بيانات عالٍ لمستخدمي PUEs و FUEs. النهج المركزي Centralized Approach هو أحد طرق تحقيق هذه المقايضة. في هذا النهج، تستخدم وحدة التحكم المركزية في الشبكة المعلومات المُحصلة في تقرير القياسات للتخفيف من التداخلين Cross-Layer, Co-Layer. ومع ذلك، وبسبب الاختلافات العشوائية في طوبولوجيا الشبكة والعدد الكبير من الخلايا الصغيرة التي يمكن نشرها في البيئة الجغرافية للشبكة، قد لا يكون النهج المركزي قابلاً للتطوير، ولكن هذا البحث هو محاولة متقدمة لتطويره من خلال تعريفنا لمفهوم العنقود المميز لكل مستخدم على حدة. بكل الأحوال، هناك نهج آخر يمكن أن يكون قائماً على تنسيق التداخل، حيث تستند القرارات الذكية لتخصيص الموارد وتخفيف التداخل على تبادل المعلومات بين خلايا الماكرو والخلايا الصغيرة. وسوف نراجع بإيجاز فيما يلي مثل هذه الأساليب القائمة على التنسيق المتاحة في الأدبيات لإدارة تخصيص الموارد والتي تهدف إلى الحصول على أدنى حد من التداخل.

1.2. الطرائق المعتمدة على تقسيم الموارد Resource Partitioning based methods

إن أبسط آلية لتقسيم الموارد هو تخصيص جميع الموارد لجميع الخلايا الصغيرة في الشبكة. يُعرّف هذا بإعادة استخدام التردد بمعامل 1، (Reuse 1)، ويُحسن تخصيص الموارد هذا استخدام الموارد الراديوية. ومع ذلك، فإنه قد يزيد من التداخل Co-Layer بين الخلايا الصغيرة بشكل كبير عندما تزداد كثافتها في الشبكة. في الأبحاث [8-10]، اقترح المؤلفون إعادة استخدام التردد الجزئي (FFR) لشبكة الفيمتو الكلية القائمة على OFDMA. حيث قاموا باعتماد تخصيص متعامد خاص

عملنا الحالي بحيث نأخذ بالحسبان جميع المستخدمين الآخرين سواء أكانوا PUEs, FUEs, MUEs بشكل أكثر شمولاً.

3.2. طرائق تقسيم الموارد المعتمدة على تقسيم المنطقة

الجغرافية Region Splitting based Resource Partitioning

كما ذكرنا سابقاً، يعدُّ تنسيق التداخل بين الخلايا تحدياً كبيراً في ظل وجود آلية معينة لتخصيص الموارد الراديوية في الشبكات الهجينة نظراً لأنَّ المستخدمين الموجودين في منطقة حواف الخلية سواء أكانت خلية صغيرة أو ماكرو أكثر عرضة للتداخل الأقوى الناجم عن الإشارات من العقد الماكرو MeNB. لتحسين السعة وتحقيق تجربة مستخدم جيدة وتحسين تقنيات إدارة تداخل الكفاءة الطيفية مثل إعادة استخدام التردد الجزئي (FFR) مع استراتيجيات جدولة محسنة باستخدام خوارزمية أمثلة مناسبة للتنبؤ بوضع المستخدم في الشبكة، اقترح في البحث [15] نموذجاً للتقليل من آثار التداخل باعتماد آلية التخصيص FFR بحيث يكون للخلايا الصغيرة منطقتي تغطية مركزية Center Cell وحدوية أو خلية حافة Edge Cell باعتماد نفس مبدأ التقسيم في آلية خوارزمية FFR المرنة. تُخصَّص الموارد في هذا البحث وفق آلية التخصيص FFR للمستخدمين في مناطق مركز الخلية (إعادة الاستخدام بمعامِل N_c بحيث تُوزَّع N_c من كتل الموارد الفيزيائية على مركز الخلية الصغيرة) وفي حواف الخلية الصغيرة (إعادة الاستخدام الجزئي بمعامِل N_e بحيث تُوزَّع N_e من كتل الموارد على المستخدمين في حواف الخلية الصغيرة) وذلك بناءً على إشارة التداخل المُتنبىء بها، بالإضافة إلى استخدام عتبة لنسبة الإشارة المفيدة إلى مجموع إشارتي الضجيج والتداخل SINR في المنطقتين المركز والحافة. يتَّضح في هذا البحث أنَّ مجموعة معينة من المستخدمين تُظهر أداء أفضل من حيث الإنتاجية باستخدام آلية FFR المُحسنة المقترحة. ولكن العيب الرئيسي أنَّ التركيز ينصب على مستخدمي الخلايا الصغيرة

وذلك بسبب التخصيص المتعامد الأولي المعمول به، ولكن تعاني هذه الطرائق من سوء استخدام الموارد عند استبداء Initialization الخوارزمية.

2.2. طرائق التحكم في استطاعة الإرسال

Transmit power control based methods

اعتمد البحث [5] على إعادة استخدام التردد التكتيقي مع التحكم في استطاعة إرسال الخلية الصغيرة، وهذه طريقة مُعدَّلة على مخطط AFR التقليدي. فعندما لا تستطيع الخلية الصغيرة استخدام كتلة الموارد الفيزيائية المتاحة لها Physical Resource Blocks (PRBs) والمخصصة باستطاعة إرسال كاملة، فمن المحتمل أن تُستخدم نفس كتلة الموارد هذه بمستوى استطاعة منخفض دون التسبب في تداخل كبير مع الخلايا الصغيرة المجاورة لها، وهذه هي الفكرة الأساسية لهذا البحث حيث جرى تعديل قيمة الاستطاعة المرسله من الخلية الصغيرة عند تحقُّق شروط معينة خاصة. استُخدم هذا المفهوم في مخطط التخصيص المُعتمد جنباً إلى جنب مع مخطط التحكم في الاستطاعة، وهو عبارة عن خوارزمية تنسيق تداخل مؤلفة من خطوتين. في الخطوة الأولى، يجري تقاسم الموارد بين خلايا الـ فيمتو المتداخلة وذلك بطريقة متعامدة Orthogonal Manner. ثم في الخطوة الثانية، يجري تسهيل إعادة استخدام الموارد باستخدام إجرائية FFR من خلال التحكم في استطاعة الإرسال. وعندما لا يُسمح للخلية الصغيرة باستخدام كتلة موارد فيزيائية أثناء الإرسال باستطاعة كاملة بسبب مخاوف التأثير بالتداخل المحتمل عند هذه القيمة من الاستطاعة، فإنها تتحقَّق من جدوى استخدام نفس كتلة الموارد هذه PRB ولكن بنصف استطاعة الإرسال. من عيوب هذه الطريقة أنَّها تأخذ بالحسبان مستخدمي الخلايا الصغيرة فقط، وأيضاً لا يُستخدم كامل الطيف الترددي في حالات معينة كون عملية اتخاذ القرار في تخفيض قيمة الاستطاعة كما هو مقترح هي عملية عشوائية، وبالتالي يحرم ذلك عدد كبير من المستخدمين من موارد متاحة، وهذا العيب سوف نركِّز عليه في

3. تقنيات التخصيص وفق إعادة استخدام

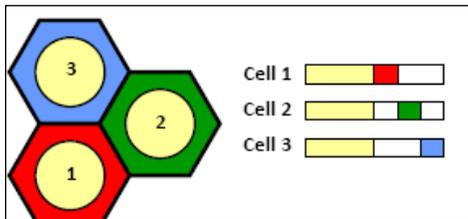
التردد الجزئي FFR

1.3. إعادة استخدام التردد الجزئي بمعامل 3 (FFR3)

يُعدُّ المخطط الأبسط لتقليل التداخل وهو إعادة استخدام تردد بمعامل $N > 1$. يعتمد هذا المخطط على تقسيم منطقة جغرافية إلى خلايا عددها N وتوزيع عرض المجال الترددي (BW) عليها وذلك بتخصيص حزمة جزئية من عرض المجال الكلي لكل خلية من الخلايا. تُستخدم الخلايا المتجاورة حزم جزئية مختلفة من عرض المجال لتجنب التداخل عند الإرسال في الوصلة الهابطة. يُعاد استخدام نفس الحزم الجزئية في الخلايا البعيدة، فعلى سبيل المثال عندما $N=3$ ، أي تقسيم عرض المجال إلى ثلاث حزم تُستخدم كل حزمة في خلية واحدة من أصل ثلاث خلايا تُشكّل بمجموعها عُقوداً Cluster، كما يبيّن الشكل (4)، حيث تستخدم ثلاث خلايا متجاورة حزم متعامدة Orthogonal bands كل منها يساوي ثلث عرض المجال الترددي الكلي، تُشكّل مجموعة الخلايا الثلاث الكتلة الأساسية (العنقود الرئيسي في الشبكة) وهذا من أجل أي حجم منطقة جغرافية (مهما كان نصف قطر الخلية الواحدة في العنقود). ويمكن تعميم هذا المبدأ بسهولة لمعامل تقسيم أكبر أو عدد خلايا أكثر من 3، ولكن يكون هذا على حساب الكفاءة الطيفية، أي على حساب عرض المجال المتاح لكل خلية وبالتالي معدل نقل البيانات الأعظمي الذي يمكن تحقيقه للمستخدمين. بكلمات أخرى، في عملية إعادة استخدام التردد بمعامل $N=3$ تُحاط كل خلية بستة خلايا مجاورة كل منها يُستخدم حزمة مختلفة عن الخلية المركزية (السابعة)، مما يؤدي إلى تقليل التداخل بشكل جيد لكن على حساب انخفاض الكفاءة الطيفية بسبب استخدام ثلث عرض المجال الترددي فقط في كل خلية مما يؤدي إلى ضياع ثلثي عرض المجال الترددي المستخدم وبالتالي انخفاض معدل نقل البيانات [3][17]. يُلاحظ أنه حتى في حال نشر خلايا صغيرة في كل خلية بحيث تأخذ

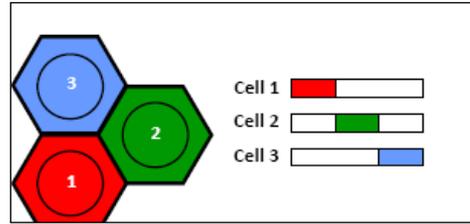
فقط دون الاهتمام بمستخدمي الخلايا الماكرو خاصة عندما ينوي مستخدم ما هو أقرب إلى خلية ماكرو الانتقال إلى مكان قريب من خلية صغيرة في بيئة الاتصال وكون لم تُعد الخلية الماكرو تتيح موارد كافية له، عندئذٍ ورغم كون الاستطاعة المستقبلية الأعظمية التي يستقبلها هذا المستخدم متاحة من الخلية الماكرو إلا أنها لا تتمكن من تخدميه وبالتالي يجب تنفيذ عملية تسليم محلي offload لهذا المستخدم من قبل الخلية الصغيرة، وهو ما لم يناقشه هذا البحث. من جهة أخرى، جرى في البحث [16] تقسيم منطقة تغطية الخلية الماكرو إلى ثلاث أقسام داخلية ومركزية وخارجية مكانية بدلاً من اثنتين مركزية وخارجية، فُصِّم الطيف الترددي المتاح إلى أربعة أجزاء غير متداخلة، منها ثلاثة أجزاء من الطيف تشترك فيها المنطقة الخارجية والداخلية. جرى مشاركة الجزء المتبقي من قبل المنطقة المركزية للخلية الماكرو. بالإضافة إلى ذلك، تشترك الخلايا الصغيرة المتراكبة في هذا المخطط جزئياً في طيف الخلية الماكرو. جرى تحليل أداء مخطط التخصيص المقترح من حيث إجمالي الإنتاجية، و تحليل أنصاف أقطار كل منطقة جغرافية جزئية ينتج عنها إجمالي قيمة الإنتاجية العظمى والأمثل. استخدم المؤلفون في هذا البحث محاكاة ماتلاب لاستخلاص النتائج، وتوصّلوا إلى تنوع في أنصاف الأقطار لكل من المنطقة الداخلية والمنطقة المركزية وجرى خلط أنصاف أقطار المنطقة التي ينتج عنها إجمالي إنتاجية مثالي على أنها نصف القطر الأمثل، بمعنى أنّ هذا البحث يهدف إلى تحديد أنصاف أقطار أمثلية للمناطق الثلاث التي يجري وفقها تقسيم الخلية الماكرو. جرت مقارنة المخطط المقترح مع مخطط إعادة استخدام التردد المرن التقليدي Soft FFR فيما يتعلّق بمؤشر الإنتاجية. وسنعمد في عملنا هذا نفس آلية المقارنة ولكن دون الخوض في تقسيم المناطق تلك كونه يقلل من الفعالية الطيفية لقناة الاتصال في ضوء متطلبات معدلات نقل عالية للبيانات.

الثانية تُقسّم إلى ثلاثة حزم تستخدم كل حزمة منها على حواف خلية واحدة فقط وفي هذه الحالة تُحاط كل خلية بستة خلايا متجاورة تستخدم على حوافها حزم مختلفة عن الحزمة المستخدمة على حواف الخلية المركزية ومن خلال هذه الطريقة تُحافظ على معدّل تقليل جيّد للتداخل بين الخلايا مع استخدام ثلثي المجال الترددي مما يُحسّن الكفاءة الطيفية ولكن يبقى ثلث المجال الترددي غير مستخدم مع احتمالية تداخل الحزمة المستخدمة في مركز الخلية بحسب نصف قطر مركز الخلية ومساحة حوافها مع الخلايا المتجاورة [17][3]. ولكن عند نشر خلايا صغيرة في كل عنقود بحيث يُخصّص لكل منها نفس عرض المجال الترددي الكلي، نواجه مشكلة في طريقة التوزيع حيث يمكن للكثير من المستخدمين الذين يتوقّعون أن يرتبطوا بخلايا ماكرو ألا تستطيع تخديمهم بسبب عدم متاحة الموارد من خلية ماكرو قريبة مثلاً، وبالتالي فكرت في هذا البحث هو الاستفادة من خلية صغيرة من نوع فيمتو أو ميكرو قريبة يجري البحث عنها لأنها توفر نفس كتل الموارد الراديوية التي تتيحها الخلية الماكرو، ولأنّ الشبكة تكون مُبرمجة أصلاً للاتصال مع الخلايا الماكرو ضمن شرط استطاعة مُستقبلية عظمى فإنّ هذا الشرط غير كافٍ لإجراء التسليم المحلي Load-off بين المستخدم وبالتالي يجب البحث عن خلية تتيح كتلة موارد فيزيائية PRB في محيط هذا المستخدم بحيث لا يقتصر شرط التسليم على استطاعة مستقبلية عظمى، وهو الفكرة الرئيسية لبحثنا هذا.



الشكل (5) إعادة استخدام التردد الجزئي من نمط A [17]

كل منها جزء الحزمة الترددية من الجزئين المتبقين من عرض المجال الترددي الكلي فإنّ التداخل البيئي من النمط Cross-Layer سيكون كبيراً بين الخلايا الصغيرة وبين الخلية الماكرو التي تضمّها في منطقتها الجغرافية (ضمن نفس اللون في الشكل (4))، وبالإضافة إلى ذلك، سوف يزداد التداخل المشترك من النوع Co-Layer فيما بين الخلايا الصغيرة نفسها كونها تستخدم نفس الجزء الترددي المستخدم في الخلية الماكرو.

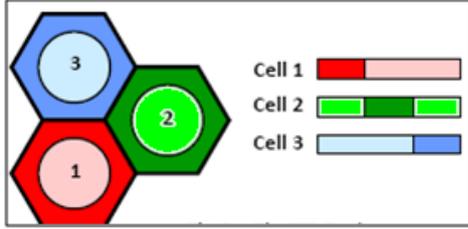


الشكل (4) إعادة استخدام التردد الجزئي بمعامل 3 [17]

2.3. إعادة استخدام التردد الجزئي الصارم (Strict FFR)

تُعَدُّ طريقة إعادة استخدام التردد الجزئي الصارم (Strict FFR) أحد الحلول المستخدمة لمشكلة ضياع المجال الترددي في إعادة استخدام التردد (FR) حيث أنّها تساهم في تقليل التداخل مع إمكانية استخدام أفضل للمجال الترددي كما يبيّن الشكل (5). يجري التقسيم وفق هذه الآلية مثل الآلية السابقة FFR3 ولكن مع فرق وحيد أنّ كل جزء ناتج عن النسبة 1/3 وخاص بخلية واحدة من الخلايا الثلاثة في العنقود، يُقسّم أيضاً إلى جزئين، بحيث يكون جزء خاصاً بمركز الخلية، والثاني خاص بحافتها، بشرط أن يكون لكل منطقة تغطية مركز خلية ماكرو حصّة تعادل نصف الطيف الترددي الكلي، ولحافتها حصّة تُعادل سدس الطيف الترددي الكلي، حيث يُخصّص كل سدس منها إلى كل حافة من الحواف الثلاثة، وأمّا النصف فيخصّص لكل مركز من مراكز الخلايا الماكرو الثلاث في العنقود الواحد. بكلمات أخرى، تُقسّم المنطقة الجغرافية إلى ثلاث خلايا والمجال الترددي إلى حزمتين، تُستخدم الحزمة الأولى في مراكز الخلايا الثلاث أمّا الحزمة

موضعه بالنسبة للزمن عبارة عن تحركات بطيئة في المكان، مثل جماهير ملعب كرة قدم كبير الحجم والمستخدمين فيه على امتداد أرضية الملعب يتحركون ويتجاوزون بعضهم البعض بسرعات صغيرة (مستقرين مكانياً).



الشكل (6) إعادة استخدام التردد الجزئي من نمط B [17]

4. مواد البحث وطرقه:

1.4.1 تخطيط الشبكة الهجينة LTE-A HetNet Planning

نأخذ في الحسبان سيناريو إرسال الوصلة الهابطة في شبكة LTE-A الهجينة والقائمة على تقنية الإرسال OFDMA حيث يكون لكل مستخدم مخصصات ترددية متعامدة وفق تقنية OFDM تتضمن كتلة الموارد الفيزيائية المراد إرسالها وله أيضاً حيزات زمنية Time Slots بحيث يتصل بكل خلية من خلايا الشبكة أكثر من مستخدم في نفس الوقت ولكل منهم حصة ترددية وزمنية موافقة [17]. يتكون نموذج الشبكة المفترض هنا من سبعة عناقيد من الخلايا الماكرو بحيث يتكون كل عنقود من ثلاث خلايا ماكرو تقع في مركز مجال تغطية على شكل سدس Hexagonal كما هو مألوف، بحيث يكون نصف قطر الخلية الواحدة هو $R_{MacroCell}$. بالتالي، تتضمن شبكتنا التي نحكي نموذجنا فيها من 21 خلية ماكرو. نفترض أيضاً وجود عدد من الخلايا الصغيرة في كل منطقة تغطية خلية ماكرو بحيث عدد خلايا الفمto يساوي $N_{FemtoCell}$ وعدد خلايا البيكو يساوي $N_{PicoCell}$ وبحيث تكون متباعدة كفاية عن بعضها البعض وعن كل محطة قاعدية للخلية الماكرو، وبحيث تكون موزعة بشكل عشوائي نظراً لافتراض حالة عدم وجود اتفاق بين مركز الشبكة الكلية وبين مناطق نشر الخلايا الصغيرة في بيئة

3.3. إعادة استخدام التردد الجزئي المرن (Soft FFR)

يُوصف النموذج الثالث من تقنيات إعادة استخدام التردد الجزئي بأنه مرن Soft FFR، ففي هذه الطريقة تُقسّم المنطقة الجغرافية إلى ثلاثة خلايا كما يبيّن الشكل (6) حيث استُخدم المجال الترددي كاملاً في كل خلية من الخلايا بحيث يُخصّص ثلثي المجال الترددي في مركز الخلية وثلث المجال الترددي على حواف الخلية، وبشكل مختلف عن النمط السابق فإن مراكز الخلايا تستخدم حزم ترددية جزئية مختلفة لتحسين تقليل التداخل مقارنة بالنمط السابق، كما هو موضّح على يمين الشكل (6) حيث الحزمة المستخدمة على حواف الخلية يجري اختيارها بحيث لا تتداخل مع الحزم المستخدمة على حواف الخلايا المجاورة. بشكل مشابه للأنماط السابقة، تكون كل خلية محاطة بستة خلايا ولكنها تستخدم على حوافها حزماً مختلفة عن الحزمة المستخدمة على حواف الخلية المركزية وبهذه الطريقة نكون استخدمنا المجال الترددي كاملاً لكن مع احتمالية تداخل الحزم المستخدمة في مركز الخلية تبعاً لقيمة نصف قطر مركز الخلية [3][17]، وهذه هي أفضل تقنية من بين تقنيات FFR ولكن، مثل حالة النمط السابق، يسوء الحال بالنسبة إلى تخصيص كتل الموارد في حين جرى نشر خلايا صغيرة بشكل عشوائي وكثيف في كل خلية ماكرو من الخلايا الثلاثة من كل عنقود، حيث يعاني عندها مستخدمو MUE من نقص كتل الموارد في الخلايا الماكرو ذات الاستطاعة العظمى، وبالتالي رغم كون استطاعة الإرسال الخاصة بالخلية الماكرو هي استطاعة جيدة وتؤمن اتصال فعال ومستمر ولكنها يمكن وباحتمال كبير ألا توفر كتلة الموارد المناسبة PRB في وقت ما خرج، وبالتالي يجب حل هذه المسألة من خلال البحث عن خلية ما صغيرة كانت أو ماكرو بحيث تؤمن كتلة الموارد هذه وفي نفس الوقت يمكن أن توفر استطاعة إرسال مناسبة للمستخدم المعني بطريقة يمكن تنفيذ تسليم محلي Load-Off بالأخذ بالحسبان أن حركة المستخدم مهمة وأن تغييرات

2.4. نموذج انتشار الإشارة في بيئة الاتصال

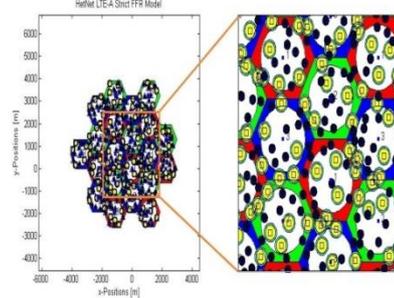
Propagation Model

يتطلب تخطيط الخلية تقدير استطاعة الإشارة المستقبلية في كل أجزاء المساحة المغطاة. عموماً، تتخامد الإشارة المرسلية من المحطة القاعدية سواء أكانت MeNB أو HeNB، وذلك بسبب عدة عوامل؛ هي خسارات ناجمة عن فقد المسار، وخسارات ناجمة عن الخفوت السريع متعدد المسارات، وخسارات ناجمة عن الخفوت البطيء الناتج عن ظاهرة الظل [18]. نعتمد المعادلة التالية في النمذجة:

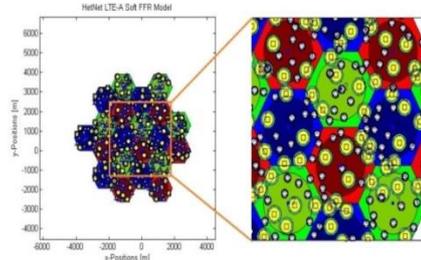
$$P_{RX} = P_{TX} - L_{pathloss} - L_{fastfading} - L_{shadwoing} \quad (1)$$

حيث P_{RX} تُعبّر عن الاستطاعة المستقبلية من تجهيزة مستخدم ببعد مسافة معينة عن المحطة القاعدية، و P_{TX} هو استطاعة إرسال المحطة القاعدية، و $L_{fastfading}$ هو الفقد الناجم عن الخفوت السريع الذي نمذجُه هنا بخفوت رايليه الذي يتعلّق بالتردد الحامل وبحركة المستخدم وبالفترّة الزمنية للاستقبال ويتردد أخذ العينات من الإشارة المستقبلية، و $L_{shadwoing}$ هو الفقد الناجم عن ظاهرة الخفوت البطيء (الظل) الذي نمذجُه بحيث يتبع توزيع Log-Normal (الظل) اللوغاريتم الطبيعي والذي متوسطه يساوي 0 dB وانحرافه المعياري 5 dB [18] ونفترض بشكل مقبول عموماً، أنّ كل من فقد الخفوت السريع والبطيء هو واحد سواء أكانت الخلية التي تُرسل الإشارة ماكرو أو صغيرة. وبالنسبة للمقدار $L_{pathloss}$ فهو الفقد الناجم عن مسار الإشارة من هوائي الإرسال إلى هوائي الاستقبال، وتختلف نمذجته بحسب نوع الخلية التي تُرسل الإشارة (ماكرو أو صغيرة). نعتمد في هذا البحث نموذج أوكومورا-هاتا (Okumura-Hata) [20] لتقدير فقد المسار الناجم عن حالة إرسال من الخلية الماكرو، والذي تُكتب معادلته (مقاساً بالديسيبل dB) على النحو التالي:

الاتصال. بالتالي تتضمن شبكتنا الكليّة المدروسة $(N_{FemtoCell} + N_{PicoCell}) \times 21$ خلية صغيرة. من جهة أخرى، وفي شبكة LTE-A القائمة على OFDMA، كما ذكرنا آنفاً تُقسّم موارد النظام على طول فترات التردد (الحوامل الجزئية Subcarriers) والفترات الزمنية، وتُجدول هذه الموارد في وحدات كتل الموارد الفيزيائية (PRBs) فيكون لكل مستخدم كتلة موارد واحدة مقابلة لكل فترة زمنية واحدة يجري تخديمه بها أثناء الاتصال الراديوي، حيث نفترض أنّ كل كتلة موارد PRB (لها عرض المجال 180 KHz) تتكوّن من 12 حامل جزئي متعامد وفق تقنية OFDMA [5]. نفترض في هذا البحث أنّ عدد يساوي N من كتل الموارد RPBs تكون متاحة لكل من الخلايا الماكرو والصغيرة بنفس المقدار، وتتبع في نمودجين متباينين للمحاكاة طريقتين لتوزيع هذه الموارد على الخلايا الماكرو والصغيرة استناداً إلى الطريقتين الأصل في التخصيص وهما الطريقة الصارمة Strict FFR والطريقة المرنة Soft FFR. يبيّن الشكل (7) نموذج الشبكة في حالة Strict FFR، ويبيّن الشكل (8) نموذج الشبكة في حالة Soft FFR.



الشكل (7) تخطيط الشبكة وفق مخطط Strict FFR (الباحث)



الشكل (8) تخطيط الشبكة وفق مخطط Soft FFR (الباحث)

$$L_{\text{pathloss}}^{\text{Pico}} = \bar{L}_p(R_0) + 10\gamma \log(R) + L_f(n) \quad (7)$$

حيث $\bar{L}_p(R_0)$ هو فقد المسار المرجعي عند مسافة تساوي متراً واحداً، و γ هو معامل متعلق بفقد المسار الخاص بالخلايا البيكو، و $L_f(n)$ هو مقدار التخامد في الإشارة عند مرورها بأكثر من حاجز (أو جدار) بعدد يساوي n . إن المعادلة (7) الأصلية تتضمن فقد الخفوت البطيء (فقد الظل)، ولكننا هنا أزلناه من المعادلة كوننا قمنا بتضمينه أصلاً في معادلة الاستطاعة المستقبلية في المعادلة (1). بشكل خاص، يأخذ المقدار $L_f(n)$ القيمتين 10 dB عند التردد 900 MHz و 16 dB عند حدود التردد 1.7 GHz، وعموماً، يبين الجدول (1) قيمه من أجل نمط البيئة الداخلية التي ترسل فيها الخلية البيكو. ويبين الجدول (2) القيم الممكنة لكل من $\bar{L}_p(R_0)$ و γ و $L_f(n)$.

الجدول (1) قيم التخامد في إشارة الإرسال لخلية بيكو [21].

Signal attenuation through	Loss (dB)
Window in brick wall	2
Metal frame, glass wall in building	6
Office wall	6
Metal door in office wall	6
Cinder wall	4
Metal door in brick wall	12.4
Brick wall next to metal door	3

الجدول (2) قيم معاملات حساب فقد المسار الخاص بخلايا البيكو [21].

Environment	Residential	Office	Commercial
$\bar{L}_p(R_0)$ (dB)	38	38	38
γ	2.8	3.0	2.2
$L_f(n)$	4n	15 + 4(n - 1)	6 + 3(n - 1)

3.4. نمذجة معادلة SINR واعتبارات قراري تخديم

المستخدم والتسليم بين الخلايا

تختلف معادلة النسبة SINR بحسب نوع الخلية المفترض أنها تُخدم المستخدم، حيث أن هذه النسبة هي بالتعريف نسبة استطاعة الإشارة المرجعية المُستقبلة من الخلية المخدّمة Reference Signal Received Power (RSRP) (والتي تُنتج من المعادلة (1) مباشرة) إلى مجموع استطاعات إشارات التداخل الناتجة عن باقي خلايا الشبكة مضافاً إليها استطاعة الضجيج الحراري للمستقبل والتي ترتبط بكل من k

$$L_{\text{pathloss}}^{\text{Macro}} = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log(H_b) + (44.9 - 6.55 \log(H_b)) \log(R) - a(H_m) \quad (1)$$

الحالة المعتمدة في هذا البحث $a(H_m)$ للمدن الصغيرة (Small Urban) تُعطى بالعلاقة [20]:

$$a(H_m) = 0.8 + (1.1 \log f - 0.7) H_m - 1.56 \log f \quad (2)$$

أمّا في حالة مناطق المدن الكبيرة (Large Urban) فإن $a(H_m)$ تُعطى بالعلاقة [20]:

$$a(H_m) = 3.2 (\log(11.75 H_m))^2 - 4.97 : 200 \leq f \leq 1500 \quad (3)$$

أمّا في حالة الضواحي (Suburban) فإن $a(H_m)$ تُعطى بالعلاقة التالية [20]:

$$a(H_m) = 2 (\log(f / 28))^2 - 5.4 \quad (4)$$

أمّا في حالة المناطق الريفية (Rural) فإن $a(H_m)$ تُعطى بالعلاقة التالية [20]:

$$a(H_m) = 4.78 (\log f)^2 + 18.33 \log f - 40.98 \quad (5)$$

حيث H_b هو ارتفاع هوائي المحطة القاعدية للخلية الماكرو مقاساً بالمتراً، و H_m هو ارتفاع تجهيزة المستخدم عن سطح الأرض مقدراً بالمتراً، و $a(H_m)$ هو معامل تصحيح ارتفاع هوائي تجهيزة المستخدم، و f هو التردد الراديوي الحامل مقدراً بالميجا هرتز، و R هو بعد تجهيزة المستخدم عن هوائي الإرسال مقدراً بالكيلو متر.

من جهة أخرى، وللتبسيط، نستخدم نموذج فقد المسار الخاص بخلايا الفيمتو [18]، وفق المعادلة:

$$L_{\text{pathloss}}^{\text{Femto}} = 147 + 36.7 \log\left(\frac{R}{1000}\right) \quad (6)$$

حيث يُقاس بعد تجهيزة المستخدم R عن هوائي الإرسال هنا بالمتراً، وتُقاس قيمة الفقد بالديسيبييل dB. ونستخدم نموذج فقد المسار الخاص بخلايا البيكو [21]، محسوباً بالديسيبييل وفق المعادلة:

ثابت بولتزمان، و T درجة حرارة المستقبل، و B عرض المجال الترددي المتاح للمستخدم (عرض المجال الترددي المقابل لكتلة الموارد الفيزيائية PRB المتاحة من الخلية الماكرو أو الفيمتو أو البيكو المُخدّمة) [18]، وتُجدر الإشارة هنا إلى أنّ الخلية المُخدّمة يمكن أن تكون من النوع ماکرو أو فيمتو أو بيكو، وبالتالي يوجد ثلاثة أشكال لمعادلة SINR كما يلي:

$$\text{SINR}_{\text{macro}}^{h,i} = \frac{\text{RSRP}_{\text{macro}}^{h,i}}{\text{RSRP}_{\text{AllFemtos}} + \text{RSRP}_{\text{AllPicos}} + \text{RSRP}_{\text{OtherMacos}} + P_{\text{ThermalNoise}}} \quad (8)$$

- معادلة SINR حين تكون الخلية المُخدّمة هي خلية فيمتو: لتكن $\text{RSRP}_{\text{Femto}}^{h,j,i}$ هي الاستطاعة المستقبلية بالنسبة لمستخدم ما في الشبكة تخدمه الخلية الفيمتو التي رقمها $1 \leq h \leq N_{\text{FemtoCell}}$ والموجودة في منطقة الخلية الماكرو ذات الرقم $1 \leq j \leq 3$ والتي تنتمي إلى العنقود ذي الرقم $1 \leq i \leq 7$ ، ولتكن $\text{RSRP}_{\text{OtherFemtos}}$ مجموع الاستطاعات المستقبلية من باقي خلايا الفيمتو في الشبكة، ولتكن $\text{RSRP}_{\text{AllMacros}}$ هي مجموع استطاعات إشارات التداخل الناجمة عن كل خلايا الماكرو في الشبكة الهجينة، ولتكن $\text{RSRP}_{\text{AllPicos}}$ هي مجموع استطاعات إشارات التداخل الناجمة عن كل خلايا البيكو في هذه الشبكة، عندئذٍ تُكتَب SINR المُقاسة بالنسبة لهذا المستخدم على النحو التالي:

$$\text{SINR}_{\text{Femto}}^{h,j,i} = \frac{\text{RSRP}_{\text{Femto}}^{h,j,i}}{\text{RSRP}_{\text{AllMacros}} + \text{RSRP}_{\text{AllPicos}} + \text{RSRP}_{\text{OtherFemtos}} + P_{\text{ThermalNoise}}} \quad (9)$$

- معادلة SINR حين تكون الخلية المُخدّمة هي خلية بيكو: لتكن $\text{RSRP}_{\text{Pico}}^{p,j,i}$ هي الاستطاعة المستقبلية بالنسبة لمستخدم ما في الشبكة تخدمه الخلية البيكو التي رقمها $1 \leq p \leq N_{\text{PicoCell}}$ والموجودة في منطقة الخلية الماكرو ذات الرقم $1 \leq j \leq 3$ والتي تنتمي إلى العنقود ذي الرقم $1 \leq i \leq 7$ ، ولتكن $\text{RSRP}_{\text{OtherPicos}}$ مجموع الاستطاعات المستقبلية من باقي خلايا البيكو في الشبكة، ولتكن

$$\text{SINR}_{\text{Pico}}^{p,j,i} = \frac{\text{RSRP}_{\text{Pico}}^{p,j,i}}{\text{RSRP}_{\text{AllMacros}} + \text{RSRP}_{\text{AllFemtos}} + \text{RSRP}_{\text{OtherPicos}} + P_{\text{ThermalNoise}}} \quad (10)$$

تُحدّد قيمة النسبة SINR جودة الوصلة الراديوية، فإذا كانت أكبر من عتبة معيّنة، تكون عندئذٍ الوصلة الهابطة صالحة للإرسال ويمكن تخديم المستخدم بكتلة

موارد خلال فترة زمنية مخصّصة له [18]، وإلا لا يمكن تخديمه، وهنا تُرفض المكالمة Rejected Call نتيجة انخفاض قيمة SINR. ولكن، لا يكفي شرط عتبة

موارد خلال فترة زمنية مخصّصة له [18]، وإلا لا يمكن تخديمه، وهنا تُرفض المكالمة Rejected Call نتيجة انخفاض قيمة SINR. ولكن، لا يكفي شرط عتبة

تحقيق شرط جودة الوصلة الهابطة المتعلق بقيمة SINR المطلوب أن تكون أكبر من عتبة معينة. وتتجلى الفكرة الثانية بالبحث عن مجموعة خلايا مُرشحة لتخديمه تُشكّل بمُجمَلها عنقوداً مُميّزاً Individualistic Cluster (IC) للمستخدم بعينه يكون محيطاً به في لحظة ما وبحسب موقعه النسبي عن كل خلية من خلايا الشبكة، وبحيث يجري اختيار أفضل الخلايا في هذا العنقود وهي تلك الخلية التي يمكن أن تكون الاستطاعة المستقبلية منها كافية لتحقيق جودة وصلة راديوية مناسبة، وفي نفس الوقت تتيح تخصيص المستخدم بكتلة موارد PRB والتي لا يمكن أن يُخصّص بها من قبل الخلية المخدّمة الحالية كونها قد وصلت بحال من الأحوال إلى العدد الأعظمي المُتاح لها من كتل الموارد PRB علماً أنّ أحسن تقنيات تنسيق التداخل بين الخلايا ألا وهي FFR تقتضي أنّ لكل خلية من خلايا الماكرو المرتبطة بالشبكة لها عدد أعظمي من كتل الموارد يساوي 50 أو 100 بحسب عرض المجال الكلي المُتاح (سواء أكان 10 MHz أو 20 MHz).

4.4. المخطط المقترح لتخصيص الموارد المنظم

ذاتياً Proposed SORRA Scheme

نفترض أنّ كل خلية ماکرو من الخلايا الثلاث المُشكّلة لكل عنقود في شبكة HetNet (من أصل العناقيد السبعة) المُفترضة في الشكلين (7-8) مُقسّمة إلى منطقتي تغطية تُحدّدهما قيمتان لاستطاعة الإرسال الخاصّة بهذه الخلية. تُسمّى المنطقة الداخلية للخلية بخلية منطقة المركز (Center Region Cell (CRC) وتُسمّى المنطقة الخارجية منها بخلية منطقة الحافة (Edge Region Cell (ERC) بحيث يكون نصف قطر المنطقة الداخلية R_{CRC} يساوي 70% من نصف قطر الخلية الماکرو كاملةً $R_{MacroCell}$ (المُحدّدة بمسّس

SINR لوحده، فحتّى يُخدّم المستخدم يجب توفر كتلة موارد PRB مناسبة لهذا المستخدم تكون متاحة من قبل الخلية المعنية. وهكذا إذا كانت كتلة الموارد متاحة يكون عندئذٍ المستخدم قابلاً للاتصال مع الشبكة وتبادل المعطيات، وإلاّ يكون خارج الخدمة. إذن يجب تحقيق شرطين متلازمين لتخديم المستخدم هما جودة النسبة SINR وتوفّر كتلة الموارد PRB في نفس الوقت، فتحقّق الشرط الأول يوافق أدنى حد ممكن من التداخل بنمطيه المشترك Co-Layer والبيني Cross-Layer، وأمّا الشرط الثاني فيوافق إتاحة الموارد الراديوية مُتمثلة بعرض حزمة جزئي معين يمكن تخصيصه للمستخدم. تُهدَف في هذا البحث إلى تحقيق مقايضة trade-off بين هذين الشرطين كونهما يتعارضان في أكثر الحالات الواقعية. يتعارض الشرطان السابقان حتّى مع استخدام أفضل خوارزميات تنسيق التداخل والتخصيص ألا وهي خوارزمية FFR بنوعها الصارم Strict والمرن Soft حيث يمكن أن يحصل تداخل يؤثّر على جودة الخدمة عند ازدحام الشبكة بالمستخدمين، ويعدّ بحثنا هذا الأول من نوعه من حيث استغلال كثافة أنواع الخلايا التي يمكن نشرها في الشبكة بحيث يمكن غالباً وباحتمال كبير تخديم أكبر عدد من المستخدمين مهما ازداد عددهم بوجود عدد كافٍ من الخلايا الصغيرة في الشبكة حتى وإن كانت مُنتشرة بشكل عشوائي في جغرافية الشبكة مثل التوزّع العشوائي للمستخدمين بالنسبة للشبكة نفسها. يستند مخططنا المُقترح في هذا البحث بشكل رئيسي على فكرتين رئيسيتين سنُفصّلهما في الفقرة التالية. تتجلى الفكرة الأولى باعتماد معيار للتسليم نسميه التسليم المحلي (مع افتراض حركة مُهملة للمستخدم) بين خلية وأخرى تحقّق كلّ منهما عتبة مُحدّدة من الاستطاعة المستقبلية RSRP بحيث يمكن

بثلاثة ألوان هي الأزرق والأخضر والأحمر في الشكل (7) فكلّ منها يأخذ عرض المجال الترددي BW_{ERC}^{Macro} الناتج عن هذه التقنية، وهو يساوي سدس عرض المجال الترددي الكلي، مع الأخذ بالحسبان أنّ كل سدس من عرض المجال الكلي هو سدس مختلف عن غيره (كما يشير الشكل (5)). وبالتالي، تكون كل خلية مركزية CRC من الخلية الأم الماكرو قادرة على تخصيص نصف عدد كتل الموارد الكلي لمستخدميها أي: $N_{CRC}^{PRBMacro} = \frac{1}{2}N$ ، وأمّا كل خلية حافة ERC من الخلية الأم الماكرو فتكون قادرة على تخصيص سدس عدد كتل الموارد لمستخدميها أي $N_{ERC}^{PRBMacro} = \frac{1}{6}N$ بالنسبة للتخصيص المتعلق بالخلايا الصغيرة فإننا نكون أمام حالتين بالنسبة لكل خلية ماكرو وذلك بحسب موضع الخلية الصغيرة بالنسبة للمحطة القاعدة الخاصة بالخلية الماكرو، فإذا كانت الخلية الصغيرة واقعة في المنطقة CRC للخلية الماكرو عندئذٍ يمكن أن تُخصّص هذه الخلية الصغيرة بعرض مجال ترددي يساوي عرض المجال الترددي المتاح للمنطقة ERC للخلية الماكرو نفسها أي بالمجال BW_{ERC}^{Macro} ، وهكذا يمكن ضمان عدم التداخل بينها وبين إشارات الإرسال في مركز الخلية الماكرو طالما أنّ الحزمتين التردديتين المُستخدمتين في كلّ منهما مُتعامدتين ومُتباعِدتين بشكلٍ كافٍ. وإذا كانت الخلية الصغيرة واقعة في المنطقة ERC للخلية الماكرو عندئذٍ يمكن أن تُخصّص هذه الخلية الصغيرة بعرض مجال ترددي يساوي عرض المجال الترددي المتاح للمنطقة CRC للخلية الماكرو نفسها أي بالمجال BW_{CRC}^{Macro} ، وهكذا يمكن ضمان عدم التداخل بينها وبين إشارات الإرسال في مركز الخلية الماكرو طالما أنّ الحزمتين التردديتين المُستخدمتين في كلّ منهما مُتعامدتين

متساوي الأضلاع). يُمثّل نصف قطر المنطقة الداخلية مُعاملاً هاماً في الأداء النهائي للخوارزمية المقترحة في هذا البحث، وقد اخترنا النسبة 70% بناءً على عدّة تجارب محاكاة موافقة، ويُمكن مستقبلاً استخدام هذا المُعامل في عملية أمثلة Optimization الأداء الناتج عن هذا المُعامل كإفاق مستقبليّة لهذا البحث. إذن، نفترض استطاعتي إرسال للخلية الماكرو الواحدة، الأولى خاصة بالمنطقة المركزية وهي P_{TXCRC}^{Macro} والثانية خاصة بمنطقة الحافة P_{TXERC}^{Macro} . ونفترض استطاعة الإرسال الخاصة بالخلية الفيتمو هي $P_{TXFemto}$ واستطاعة الإرسال في الخلية البيكو هي P_{TXPico} ، وسوف نُشير في فقرة النتائج إلى إمكانية تعميم فكرة تقسيم مجال تغطية الخلية الصغيرة (فيتمو أو بيكو) إلى منطقتي تغطية أيضاً تغطية مركزية وتغطية حافة، ومن ثمّ تطبيق مخططنا نفسه، وهذا عمل مستقبلي يخصّ بحثاً آخر نعملُ عليه في الوقت الحالي. بكل الأحوال، يمكن ملاحظة هذه الفكرة في الشكلين (7-8) حيث قُمتُ مسبقاً بتقسيم مناطق تغطية كل خلية صغيرة إلى منطقتين للدلالة على هذه الفكرة الجديدة. نفترض أيضاً تقنيتين لتنسيق التداخل بين خلايا الشبكة وهما Strict FFR, Soft FFR، ونفترض في بداية تشغيل خوارزمتنا تخصيص كتل الموارد PRBs والتي عددها الكلي N كما يلي:

- بالنسبة للتقنية Strict FFR: تُشير المنطقة البيضاء في الشكل (7) إلى المنطقة المركزية للخلية الماكرو، حيث تشترك كل المناطق البيضاء في الشبكة الكلية بنفس عرض المجال الترددي BW_{CRC}^{Macro} الناتج عن هذه التقنية، وهو يساوي نصف عرض المجال الترددي الكلي المتاح BW_{Total}^{Macro} (20 MHz أو 10 MHz)، وأمّا منطقة تغطية الحافة (التي يُشار لها

وَمُتَبَاعِدَتَيْنِ أيضاً. بالنسبة لمخططنا المقترح هنا الخاص بالتقنية Strict FFR، يقوم المُشغّل بإعطاء توصيات للمُشغّلين الثانويين الذي ينشرون خلايا صغيرة في منشآتهم بحيث يوصي (في حال أراد المستخدم عرض حزمة كبير لتحقيق معدّل نقل مرتفع بأن يجري تخطيط الخليّة الصغيرة في منطقة الحافة للخليّة الماكرو والابتعاد قدر الإمكان عن مركزها كون

$$N_{CRC}^{PRBMacro} (N_{FemtoCell}^{InERCMacro} + N_{PicoCell}^{InERCMacro}) = \frac{1}{2} N (N_{FemtoCell}^{InERCMacro} + N_{PicoCell}^{InERCMacro}) \quad (12)$$

حيث تتواجد في كامل منطقة تغطية كل خليّة ماکرو من كل عنقود ثلاثي الخلايا في الشبكة عدداً من خلايا الفيمتو والبيكو يساوي:

$$N_{FemtoCell} = N_{FemtoCell}^{InCRCMacro} + N_{FemtoCell}^{InERCMacro} \quad (13)$$

$$N_{PicoCell} = N_{PicoCell}^{InCRCMacro} + N_{PicoCell}^{InERCMacro} \quad (14)$$

حيث $N_{FemtoCell}^{InCRCMacro}$ هو عدد خلايا الفيمتو في المنطقة CRC و $N_{FemtoCell}^{InERCMacro}$ هو عدد خلايا في المنطقة ERC، و $N_{PicoCell}^{InCRCMacro}$ هو عدد خلايا البيكو في المنطقة CRC و $N_{PicoCell}^{InERCMacro}$ هو عدد خلايا البيكو في المنطقة ERC. وهكذا كلّما كان عدد الخلايا الصغيرة كبيراً، كلّما كان بالإمكان تخديم عدد أكبر من المستخدمين، وهو السمة الأهم والميزة المفيدة لنشر الخلايا الصغيرة بشكل عام. إنّ الفكرة الرئيسيّة لمخططنا تكمن في إجراء تسليم محلي بين خليّة ماکرو وخليّة صغيرة بالنسبة إلى مستخدم من النمط MUE لا يجد موارد متاحة بالنسبة للخليّة الماکرو المرتبط بها، حيث نلاحظ أنّ العدد الأعظمي من المستخدمين والذي تستطيع الخلايا الصغيرة تخديمه ضمن مجال الخليّة الماکرو (سواء أكانت هذه الخلايا الصغيرة متواجدة في المنطقة CRC أو في المنطقة ERC) هو أكبر بكثير من عدد المستخدمين MUEs (في منطقتها CRC يمكنها تخديم عدد أعظمي من MUEs يساوي N_{CRC}^{Macro} فقط، وفي منطقتها ERC

وَمُتَبَاعِدَتَيْنِ أيضاً. بالنسبة لمخططنا المقترح هنا الخاص بالتقنية Strict FFR، يقوم المُشغّل بإعطاء توصيات للمُشغّلين الثانويين الذي ينشرون خلايا صغيرة في منشآتهم بحيث يوصي (في حال أراد المستخدم عرض حزمة كبير لتحقيق معدّل نقل مرتفع بأن يجري تخطيط الخليّة الصغيرة في منطقة الحافة للخليّة الماكرو والابتعاد قدر الإمكان عن مركزها كون $W_{CRC}^{Macro} = 3 \times BW_{ERC}^{Macro}$ ، وبالنسبة للمستخدمين الذين لا يهتمون كثيراً بمعدّل النقل المرتفع فيمكنهم تخطيط خلاياهم الصغيرة في مناطق قريبة من مركز خلية الماکرو. في هذا السياق، يجب على مُشغّل الشبكة أخذ هذه التوصية بالحسبان عند تخطيطه للخلايا الماکرو في المحيط الجغرافي لشبكتة بحيث يقوم بنشر أبراج تغطية الماکرو في مناطق تُناسب البنية المعماريّة للمنطقة المُخدّمة وبحسب طبيعة المنشآت والمباني التي تحتاج إلى نشر الخلايا الصغيرة. بهذه الطريقة، يكون متاح عدد من كتل الموارد يساوي $N_{ERC}^{PRBMacro}$ لكل خليّة صغيرة موجودة في المنطقة CRC للخليّة الماکرو، ويكون متاح عدد من كتل الموارد يساوي $N_{CRC}^{PRBMacro}$ لكل خليّة صغيرة موجودة في منطقة ERC للخليّة الماکرو، وبالتالي إذا كان عدد الخلايا الصغيرة في المنطقة CRC لكل خليّة ماکرو يساوي $N_{FemtoCell}^{InCRCMacro} + N_{PicoCell}^{InCRCMacro}$ فإنّ عدد المستخدمين PUEs، FUEs، الأعظمي الممكن تخديمهم من هذه الخلايا (بشرط تحقق شرط جودة الوصلة الراديوية) هو:

$$\begin{aligned} & N_{ERC}^{PRBMacro} (N_{FemtoCell}^{InCRCMacro} + N_{PicoCell}^{InCRCMacro}) \\ & = \frac{1}{6} N (N_{FemtoCell}^{InCRCMacro} + N_{PicoCell}^{InCRCMacro}) \quad (11) \end{aligned}$$

وإذا كان عدد الخلايا الصغيرة في المنطقة ERC لكل خليّة ماکرو يساوي $N_{FemtoCell}^{InERCMacro} +$

بالنسبة للمنطقة ERC الخاصة بكل خلية من الخلايا الثلاثة في العنقود، فيخصص لها الجزء المتم من المجال الترددي الكامل المخصص لهذه الخلية، وبالمثل يكون محتوى مختلفاً فيما بين الحواف الثلاثة للعنقود الثلاثي الواحد، ولكن عرض هذا المحتوى الترددي الجزئي هو الذي يكون متساوٍ فيما بينها، أي

$$\begin{aligned} BW_{ERC}^{MacroCell1} &= BW_{ERC}^{MacroCell2} = \\ BW_{ERC}^{MacroCell3} &= \frac{1}{3} BW_{Total}^{Macro} \end{aligned} \quad (16)$$

فإذا كانت الخلية الصغيرة متواجدة في المنطقة CRC فهي تتيح عدداً من كتل الموارد يساوي $N_{ERC}^{PRBMacro} = \frac{1}{3} N$ وإذا كانت متواجدة في المنطقة ERC فهي تتيح عدداً من كتل الموارد يساوي $N_{CRC}^{PRBMacro} = \frac{2}{3} N$ فيكون بالتالي نفس مبدأ التخصيص الخاص بالتقنية Strict FFR ولكن بعدد مختلف من PRBs وعرض مختلف للمجال الترددي المعمول بها في الإرسال. وتتشابه أيضاً توصية المشغل، مثلما ذكرنا سابقاً فيما يخص التقنية Strict FFR، بجعل الخلايا الصغيرة مُنتشرة في حواف الخلية الماكرو في حال تطلبت معدّل نقل بيانات مرتفع. في هذا السياق، يكون عدد المستخدمين PUEs, FUEs, الأعمى الممكن تخديمهم من الخلايا الصغيرة المتواجدة في منطقة CRC للخلية الماكرو (بشرط تحقق شرط جودة الوصلة الراديوية) هو:

$$\begin{aligned} N_{ERC}^{PRBMacro} (N_{FemtoCell}^{InCRCMacro} + N_{PicoCell}^{InCRCMacro}) &= \\ \frac{1}{3} N (N_{FemtoCell}^{InCRCMacro} + N_{PicoCell}^{InCRCMacro}) & \end{aligned} \quad (17)$$

ويكون عدد المستخدمين PUEs, FUEs, الأعمى الممكن تخديمهم من الخلايا الصغيرة المتواجدة في منطقة ECR للخلية الماكرو (بشرط تحقق شرط جودة الوصلة الراديوية) هو:

$$N_{CRC}^{PRBMacro} (N_{FemtoCell}^{InERCMacro} + N_{PicoCell}^{InERCMacro}) =$$

يمكن تخديم عدد أعظمي من MUEs يساوي N_{ERC}^{Macro} فقط. لحل هذه المشكلة، نقتراح مفهوم جديد هو العنقود المميز للمستخدم عموماً (سواء أكان مستخدم من النمط MUE أو FUE أو PUE). نعلم هذا التسليم ليكون متاحاً حتى فيما بين الخلايا الصغيرة وفيما بين الخلايا الماكرو.

- بالنسبة للتقنية Soft FFR: ينطبق المفهوم السابق فيما يخص تقنية Strict FFR على تقنية Soft FFR في مخططنا لتخصيص كتل الموارد، مع فوارق أساسية. نفترض أن عدد كتل الموارد المتاحة في منطقة CRC لخلية ماركرو هو $N_{CRC}^{PRBMacro} = \frac{2}{3} N$ وأن عدد كتل الموارد المتاحة ضمن منطقة حافتها ECR هو $N_{ERC}^{PRBMacro} = \frac{1}{3} N$ بنفس طريقة التخصيص الموضحة في الشكل (6)، مع التذكير بأن المحتوى الترددي للمنطقة CRC لكل خلية ماركرو من بين الخلايا الثلاث في العنقود الثلاثي الواحد يكون مختلفاً عن المحتوى الترددي لهذه المنطقة من أجل الخليتين الباقيتين في كل عنقود ثلاثي، كما يشير الشكل (8) حيث اللون الأخضر الغامق يدل على $BW_{CRC}^{MacroCell1}$ الجزء الأول من BW_{Total}^{Macro} المحتوى الترددي الكامل المتاح للخلية الماكرو الأولى في العنقود الثلاثي الخلايا، واللون الأزرق الغامق يدل على $BW_{CRC}^{MacroCell2}$ الجزء الثاني (المختلف) من المحتوى الترددي الكامل المتاح للخلية الماكرو الثانية، واللون الأحمر الغامق يدل على $BW_{CRC}^{MacroCell3}$ الجزء الثالث (المختلف أيضاً) من المجال الترددي الكامل المتاح للخلية الماكرو الثالثة، حيث:

$$\begin{aligned} BW_{CRC}^{MacroCell1} &= BW_{CRC}^{MacroCell2} = \\ BW_{CRC}^{MacroCell3} &= \frac{2}{3} BW_{Total}^{Macro} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\frac{2}{3}N(N_{FemtoCell}^{InERCMacro} + N_{PicoCell}^{InERCMacro}) \quad (18)$$

المستخدم وتبعد عنه مسافة أعظمية هي R_{IC} ومن ثم تُرتَّب هذه الخلايا في جدول علاقة جوار بطريقة تنازلية من المسافة الأقصر إلى المسافة الأبعد، ونقوم بحساب الاستطاعة المستقبلية RSRP من كل خلية من خلايا العنقود IC (والذي يمكن أن يضم جميع أنماط الخلايا صغيرة كانت أو ماكرو). هنا نضع معيار مقارنة لتحقيق شرط جودة الوصلة الراديوية، حيث يجري اختيار الخلية الهدف المحققة لهذا الشرط بحيث تُقارَن الاستطاعة المستقبلية منها $RSRP_{IC}$ مع الاستطاعة العظمى $RSRP_{max}$ للخلية المخدّمة الحالية ويُبيّن الجدول (3) النسبة العتبة $RSRP_{Threshold}$ للمقارنة بين الاستطاعة المستقبلية من كل من الخلية الحالية والهدف بحسب نمط الخلية في الشبكة، والتي يُستند إليها لتنفيذ قرار التسليم المحلي بشرط توفّر الموارد في الخلية الهدف المنتمية إلى العنقود المميز IC. فإذا كانت $RSRP_{IC} \geq RSRP_{Threshold} \times RSRP_{max}$ وكانت الخلية الهدف توفّر كتلة الموارد المطلوبة عندئذٍ يحصل التسليم المحلي، ويصبح المستخدم مُخدّماً من الشبكة، وإلاّ ننقل إلى الاستطاعة المستقبلية الأكبر في العنقود ونعيد المقارنة. وهكذا، إلى أن نجد الخلية المناسبة للتقديم من العنقود IC نفسه، وإذا لم نستطع إيجادها يكون المستخدم خارج الخدمة. وبكل الأحوال، إن احتمال إيجاد الخلية الهدف المطلوبة والمحققة لهذه الشروط هو احتمال كبير بسبب كثافة عدد الخلايا الصغيرة في كل منطقة تغطية خلية ماكرو، وكلّما جرى نشر خلايا صغيرة أكثر كلّما كان احتمال الترخيم أكبر، علماً أنّ عدد كتل الموارد المتاحة من الخلايا الصغيرة كبيراً مقارنةً بالعدد المتاحة منها في الخلية الماكرو سواء من منطقتها CRC أو من منطقتها ERC، وهذا بالضبط ما يقوم مخططنا باستغلاله.

نوضّح الآن فكرة العنقود المميز IC لكل مستخدم حيث تقوم الشبكة بالبحث ذاتياً عن هذا العنقود من أجل كل مستخدم يريد الاتصال بالشبكة وذلك كما يلي، سواء أكانت التقنية المستخدمة هي Strict FFR أو Soft FFR. نفترض وجود مستخدم موضعه معروف بالنسبة لعقد الشبكة HeNB, MeNB، وحركته مهملة بالنسبة لأبراج التغطية الموافقة لها، وهي حالة واقعية، وكمثال عنها لتتأمل حالة ملعب دولي لكرة القدم كبير الحجم وتتوافد عليه الجماهير في بداية المباراة، وفيه تتوزّع بشكل عشوائي خلايا صغيرة لدعم سعة الشبكة HetNets وحوله تُخطّط خلايا ماكرو خاصّة بالمنطقة الجغرافية المُقامة عليها منشأة الملعب. ليكن R_{IC} هو نصف قطر العنقود المميز، الذي تبحث عنه الشبكة بالنسبة لكل مستخدم، ونفترض نصف القطر هذا موحّداً بالنسبة لكل المستخدمين الراغبين بالاتصال بالشبكة، ويمكن مستقبلاً اعتباره مُعاملاً قابلاً للأمتلئة Optimization. فيما يخص شرط التسليم المحلي بين الخلايا من أجل كل مستخدم، نفترض في بداية تشغيل الخوارزمية أنّ معيار الخدمة لكل مستخدم هو نفسه معيار التسليم الأساسي بين الخلايا Handover Decision [18]، وهو أن تكون الاستطاعة المستقبلية في جهاز المستخدم أعظمية، أي يجري اختيار الخلية المخدّمة الحالية سواء أكانت خلية ماكرو أو فيمتو أو بيكو بناءً على المقدار RSRP المتاح، فإذا كانت الخلية المخدّمة الحالية (ذات الاستطاعة المستقبلية العظمى $RSRP_{max}$) هذه لا تتيح كتل موارد لهذا المستخدم، تبدأ عملية البحث عن العنقود IC بحيث يضم هذا العنقود عدداً من الخلايا المجاورة لهذا

في الفقرة التالية مؤشرات الأداء التي تُظهر مدى التحسين الناتج عن نموذجنا SORRA المقترح.

5.4. مؤشرات الإنتاجية ومعدل الخدمة

Throughput, Service Rate Indicators

تُحسب قيمة الإنتاجية Throughput [31] من أجل كل مستخدم يتلقى استطاعة مستقبلية بنسبة SINR معينة من خلية مُخدّمة ما ووفق موارد راديوية مخصصة له وفق عرض مجال B ووفق عدد كتل موارد يساوي N_{PRB} وفق:

$$TH_{user} = \left(\frac{B}{N_{PRB}} \right) \log(1 + SINR) \quad (19)$$

نلاحظ من العلاقة السابقة أنّ الإنتاجية تتعلّق بشكل مباشر بنمط الخلية المُخدّمة والتي تتيح مواردها للمستخدم، فحالة التخصيم إذن تختلف باختلاف نمط الخلية وبالتالي بقيمة SINR المحسوبة بالنسبة لها (المعادلات 8 و 9 و 10) وتختلف أيضاً باختلاف عدد كتل الموارد وعرض المجال الترددي المتاح لكل مستخدم (المعادلات من 11 إلى 18). ولحساب متوسط الإنتاجية لكل خلية، نقوم بجمع قيم الإنتاجية الخاصة بالمستخدمين MUEs, FUEs, PUEs المرتبطين بالخلايا الماكرو والفيمتو والبيكو المتعلقة بكل منطقتين CRC و ERC تابعين لمنطقة كل محطة قاعدية MeNB من أصل ثلاثة محطات قاعدية ماكروية تُشكّل بمجملها العنقود الثلاثي الأساسي في شبكة HetNet LTE-A المدروسة، ومن ثمّ نقسّم الناتج على عدد هؤلاء المستخدمين الذين خُصّصوا بموارد الاتصال (كتل PRBs وفترات زمنية موائمة). وسوف نجد بفقرة النتائج أنّ متوسط الإنتاجية لكل خلية من خلايا الشبكة سوف يزداد بشكل واضح بالمقارنة بين الطريقة التقليدية لكل من Strict FFR, Soft FFR وبين مخططنا SORRA المقترح في هذا البحث. من جهة

الجدول (3) نسبة عتبة قرار التسليم المحلي لخلية من العنقود المميز مقارنة بأعظم استطاعة استقبال تصل إلى المستخدم.

بيكو	فمتو	ماكرو	RSRP _{Threshold}
RSRP _{max}	RSRP _{max}	RSRP _{max}	
1/2	3/4	2/3	RSRP _{IC} ماکرو
2/3	2/3	3/4	RSRP _{IC} فمتو
2/3	2/3	1/2	RSRP _{IC} بيكو

أثناء تشغيل الخوارزمية، تُصبح كتلة الموارد للخلية الهدف المقبولة في العنقود مُحزّرة released لصالح هذا المستخدم، وبالتالي ينقص عدد الكتل PRBs المتاحة من هذه الخلية بالتحديد بمقدار 1. وهكذا، من أجل كل مستخدم جديد يرغب بالاتصال بالشبكة (مثلاً مجموعة من المستخدمين المتواجدين في أماكن متباعدة من مدرجات ملعب الكرة ورغبوا جميعهم في لحظة معينة الاتصال بالشبكة ونقل مجريات ضربات الترجيح التي سوف تجري حينها وبثها بالزمن الحقيقي Online)، حينها سوف تُنظّم الشبكة عمليات التسليم وتخصيص كتل الموارد بشكل ذاتي لكل مستخدم على جدي بناءً على العنقود IC المكتشف لكل مستخدم، وهكذا يمكن استغلال كامل الموارد المتاحة من جميع الخلايا في الشبكة، مقارنة بالطريقة التقليدية التي سوف تؤدي إلى حرمان مستخدمين كُثُر من الخدمة رغم إمكانية إتاحتها بوجود خلايا صغيرة في الجوار وقريبة القرب الكافي منهم للتقديم (أي أنّ الاستطاعة المستقبلية منهم جيدة بحسب العتبة الموضوعية هنا، وأنّ إمكانية التداخل بين الحزم الترددية المتاحة من العنقود مُتبادعة عن بعضها ومُتعادمة هي إمكانية باحتمال صغير نظراً لمتانة تقنية FFR، وسوف نجد في فقرة النتائج أنّ التقنية Soft FFR أفضل من Strict FFR حتى مع تطبيق مخططنا الحالي. يبيّن الشكل (9) المخطط التدفقي للخوارزمية المقترحة في هذا البحث، ونستعرض

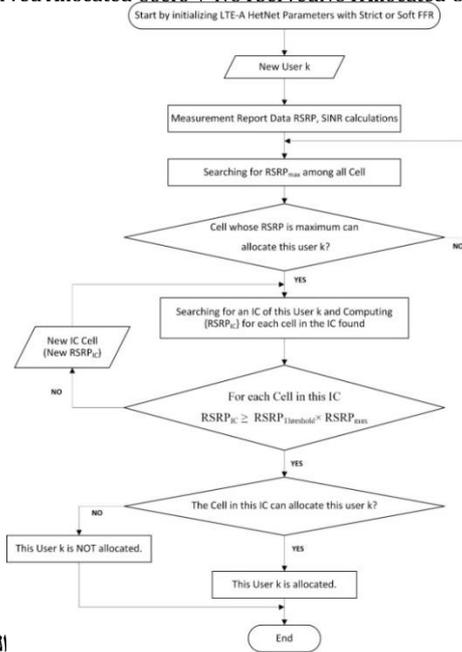
معالج بوحدة المعالجة المركزية (64-Bit) Intel® Xeon® Silver 4210 CPU @ 2.20GHz, 2.19|GHz (2 processors) وذاكرة النفاذ العشوائي RAM المثبتة بسعة 32 GB، وباستخدام منصة ماتلاب MATLAB® R2016a. توفر منصة ماتلاب مرونة عالية في محاكاة الشبكة و تعريف جميع معاملاتنا بحيث يمكننا من خلالها التحقيق في أدق السيناريوهات وأصعبها، وهي بالإضافة إلى ذلك تؤمن قدرة حسابية عالية ومطلوبة مع ازدياد عدد المستخدمين في الشبكة وازدياد عدد الخلايا الصغيرة المنتشرة بين خلايا الماكرو في الشبكة الهجينة LTE-A HetNet. يعتمد كل سيناريو محاكاة مُنجز في هذا البحث على طريقة تخطيط الشبكة الموضحة في الشكلين (7-8)، بحيث يختلف كل سيناريو عن الآخر بعدد الخلايا الصغيرة المعتبرة في الشبكة، وذلك لقياس أداء مخططنا فيما يخص استغلال انتشار هذه الخلايا بين خلايا الماكرو وبالتالي قياس مدى التحسن الحاصل في كل من الإنتاجية ومعدل الخدمة بنتيجة البحث عن العناقد المميزة ICs للمستخدمين والذين يتزايد عددهم من أجل كل سيناريو من حد أدنى إلى حد أعلى في كل خلية ماكرو.

2.5. معاملات المحاكاة

يبين الجدول (4) إعدادات معاملات المحاكاة. نقوم بمحاكاة الخوارزمية المقترحة مع الأخذ في الحسبان اثنين من السيناريوهات، ومن ثم تقييم الأداء. من أجل كل سيناريو، نستخدم قيماً مختلفة للمعاملات $N_{PicoCell}$ و $N_{FemtoCell}$ (مع تثبيت باقي قيم المعاملات) والتي تمثل عدد الخلايا الفيمتو والبوكو في كل مجال تغطية خلية ماكرو واحدة تنتمي إلى العنقود الثلاثي الأساسي من أصل سبعة عناقد تُشكّل بمجملها شبكة LTE-A HetNet المفترضة في هذا البحث

أخرى، يُحسب معدل الخدمة (SR) [31] بالنسبة لكل منطقة يمثلها مُسدس مُتساوي الأضلاع (الشكلين (7-8)) من خلال تقسيم عدد المستخدمين المُخدّمين من خلية الماكرو الموافقة لهذه المحطة القاعدية ومن الخلايا الصغيرة المتواجدة في منطقتيه (CRC, ERC) على العدد الكلي للمستخدمين القريبين من محطة القاعدة للخلية الماكرو هذا، حيث يتضمّن العدد الكلي هنا عدد المستخدمين غير المُخدّمين (الذين لم تحقق خلايا الهدف المنتمية إلى العنقود المميز IC بكل منهم معايير التسليم المحلي)، أي:

$$SR_{EveryHexagonalCell} = \frac{\text{Served Allocated Users}}{\text{Served Allocated Users} + \text{NOT Served NOT Allocated Users}} \quad (20)$$



الشكل

(9) المخطط التدفقي للخوارزمية المقترحة (الباحث)

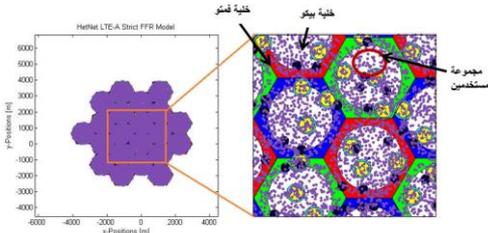
5. نتائج المحاكاة ومناقشتها

1.5. أداة وسيناريوهات المحاكاة

للتحقّق من مخططنا المقترح SORRA، أجرينا عدّة تجارب محاكاة على جهاز حاسوب خادم Server له

المستخدم	7
عدد العنقود الثلاثية في الشبكة	zero mean and 5 dB standard deviation
مُعاملات ظاهرة الخفوت الظل	خفوت رايليه Rayleigh Fading
مُعاملات ظاهرة الخفوت السريع	عدد المستخدمين المتزايد في كل خلية ماكرو سرعة المستخدمين
عدد المستخدمين المتزايد في كل خلية ماكرو	1000 بخطوة زيادة 25 أو 50 مستخدم
سرعة المستخدمين	حركة موضعية وسيرا (على الأقدام)
سرعة حركة المستخدمين	-35 [dB]
الراديو SINR threshold	7 Km×7 Km
مساحة المنطقة الجغرافية المقابلة للشبكة	270 [m]
نصف قطر الخلية المميزة للمستخدم R_{IC}	750 [m]
نصف قطر الخلية الماكرو $R_{MacroCell}$	70% of $R_{MacroCell}$
نصف قطر الخلية الماكرو لكل خلية ماكرو R_{CRC}	50 [m]
نصف قطر الخلية الفيمتو $R_{FemtoCell}$	150 [m]
نصف قطر الخلية البيكو $R_{PicoCell}$	3
نصف قطر الخلية البيكو $R_{PicoCell}$	عنقود إعادة الاستخدام

يبين الشكل (10) طريقة توزيع عدد معين من المستخدمين على امتداد كامل الشبكة التي تعتمد التنسيق Strict FFR، وأما الشكل (11) فهو مشابه لهدف الشكل (10) ولكن من أجل التنسيق Soft FFR، وقد اخترنا (على سبيل المثال لا الحصر) ومن أجل كلا الشكلين (10-11) عدداً من المستخدمين يساوي 500 متوزعين عشوائياً في منطقة تغطية كل خلية ماكرو، مع ثلاث خلايا بيكو وخمس خلايا فيمتو في كل منها.



الشكل (10) توزيع المستخدمين في بيئة الشبكة، حالة التنسيق Strict FFR (الباحث).

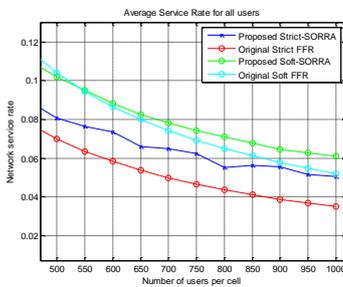
(الشكلين (7-8)). نفترض من أجل كل سيناريو بأن توزع المستخدمين في جغرافيا الشبكة هو توزع عشوائي يتبع التوزيع الطبيعي بحيث لا يكون لمستخدمين اثنين نفس الموقع ولا يكون موقع المستخدم الواحد منطبق على موقع خلية من خلايا الشبكة. نفترض أيضاً توزع الخلايا الصغيرة في مجال تغطية كل خلية ماكرو هو توزع عشوائي طبيعي أيضاً بحيث لا يكون لخليتين نفس الموقع المكاني، ولا أن ينطبق موقعها على موقع خلية ماكرو. يتفق هذا الافتراض مع الحالة الواقعية لتخطيط الخلايا الصغيرة وتوزع المستخدمين في الشبكات الهجينة HetNets LTE-A كثيفة عدد المستخدمين وعدد الخلايا الصغيرة [18,19].

الجدول (4) معاملات إعداد الشبكة الهجينة LTE-A

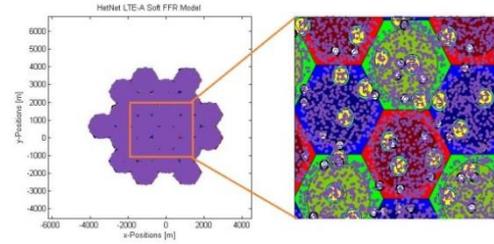
HetNet المستخدمة في المحاكاة. (الباحث)

اسم المعامل	إعدادات المعامل
السيناريو الثاني	السيناريو الأول
عدد خلايا $N_{FemtoCell}$ الفيمتو حول كل خلية ماكرو	10
عدد خلايا $N_{PicoCell}$ البيكو حول كل خلية ماكرو	6
التردد الحامل	2655 [MHz]
تقنية النفاذ الراديوي	OFDMA
عرض النطاق الترددي الكلي المتاح	10 [MHz]
تقنية تنسيق التداخل	Strict and Soft FFR
تقسيم الموارد الفيزيائية الكلي PRBs	50 PRBs
الحد الأقصى للطاقة المسموح بها لخلية الماكرو MeNB	40 [dBm] for CRC and 46 [dBm] for ERC
الحد الأقصى للطاقة المسموح بها لخلية فيمتو HeNB-Femto	15 [dBm]
الحد الأقصى للطاقة المسموح بها لخلية بيكو HeNB-Pico	24 [dBm]
توزيع المستخدمين العشوائي	عشوائي
توزيع خلايا الماكرو الصغيرة	توزع المستخدمين عشوائي
توزيع خلايا الماكرو الصغيرة	7-Clusters, each one of 3-Hexagonal MeNB
الموقع الجغرافي لبيئة الاتصال	منطقة Small urban area حضرية صغيرة
متوسط ارتفاع محطة القاعدة MeNB	30 [m]
متوسط ارتفاع تجهيزة	1.5 [m]

يُظهر الشكل (12) حالة إشباع في الشبكة فيما يخص كل من مخططي التخصيص التقليديين Strict, Soft، حيث مع ازدياد عدد المستخدمين في الشبكة تتراوح قيم الإنتاجية حول قيمة ثابتة. إنَّ هذه النتيجة طبيعية لأن عدد الموارد PRBs المُتاح من قبل كل خلية في الشبكة سواء أكانت ماكرو أو صغيرة هو عدد محدود مع محدودية مقابلة لعرض المجال الترددي الناتج عن إعادة استخدام التردد الجزئي FFR. ذلك، مع ملاحظة أنَّ أداء الشبكة من حيث الإنتاجية باستخدام التقنية Soft هو أفضل منه عند استخدام التقنية Strict وهذه أيضاً نتيجة طبيعية لأنَّ التقنية Soft تُمثل التحسين المباشر على التقنية Strict. ولكن عند تنفيذ مخططنا SORRA المعتمد إما على Strict FFR أو على Soft فإننا نحصل على أداء أفضل من حيث الإنتاجية يصل إلى أكثر من 2 Mbps بالاعتماد على التقنية Soft وإلى ربح إنتاجية يصل إلى أكثر من 1.5 Mbps مقارنة بالمخططات التقليدية لتخصيص الموارد، وذلك من أجل عدد كبير من المستخدمين في كل خلية ماكرو يصل إلى 1000 مستخدم يطلبون الاتصال، إضافة إلى ظهور المنحى الأسّي الواضح في قيم الإنتاجية في كل من مخططي SORRA المرن Soft والصارم Strict، وبالتالي الاقتراب من المنحى النظري للإنتاجية.



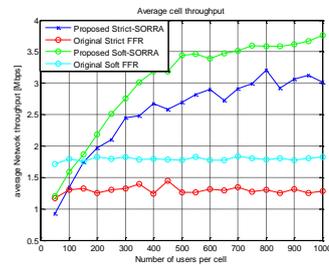
الشكل (14) توضيح منحنيات معدّل الخدمة الناجمة عن المحاكاة وفق السيناريو الأول (الباحث).



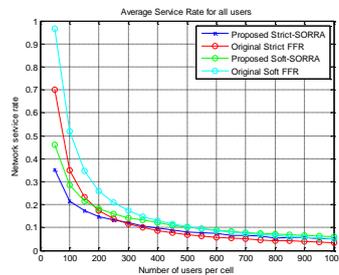
الشكل (11) توزع المستخدمين في بيئة الشبكة، حالة التنسيق Soft FFR (الباحث).

3.5. نتائج السيناريو الأول

نفترض في هذا السيناريو أنَّ عدد المستخدمين يزداد حتى 1000 مستخدم في منطقة تغطية كل خلية ماكرو وذلك انطلاقاً من 50 مستخدم فيها، مع خطوة زيادة تساوي 50 مستخدم في كل خطوة. يُبين الشكل (12) قيم الإنتاجية بالأخذ بالحسبان أربعة خيارات لتخصيص الموارد وتنسيق التداخل هي التقنيات التقليدية Strict, Soft FFR والتقنيات المعدّلة عليها والممثلة لمخططنا المقترح SORRA. يُبين الشكل (13) نتائج معدّل الخدمة من أجل الخيارات الأربعة السابقة أيضاً.

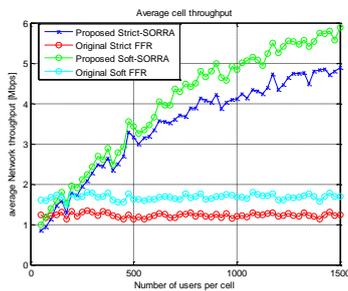


الشكل (12) منحنيات الإنتاجية الناجمة عن المحاكاة وفق السيناريو الأول (الباحث).

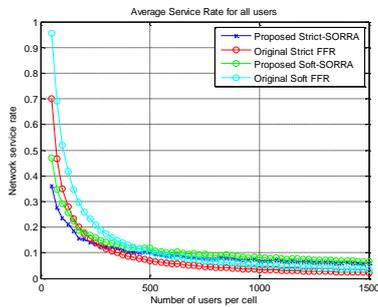


الشكل (13) منحنيات معدّل الخدمة الناجمة عن المحاكاة وفق السيناريو الأول (الباحث).

(15) قيم الإنتاجية بالأخذ بالحسبان أربعة خيارات لتخصيص الموارد وتنسيق التداخل هي التقنيات التقليدية Strict, Soft FFR والممثلة لمخططنا المقترح SORRA. ويُبين الشكل (16) نتائج معدل الخدمة من أجل الخيارات الأربعة السابقة أيضاً. ويوافق الشكلان (15-16) نتائج المحاكاة استناداً إلى تشغيل السيناريو الثاني.



الشكل (15) منحنيات الإنتاجية الناجمة عن المحاكاة وفق السيناريو الثاني (الباحث).



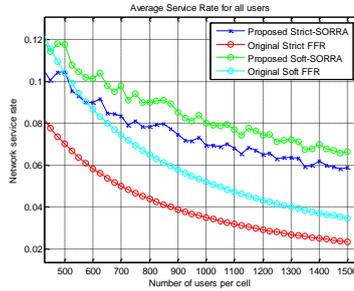
الشكل (16) منحنيات معدل الخدمة الناجمة عن المحاكاة وفق السيناريو الثاني (الباحث).

تبيّن الأشكال (15-16-17) نتائج مماثلة لنتائج السيناريو الأول، مع قيمة مضافة واضحة تتمثل بازدياد القيم العظمى لكل من الإنتاجية ومعدل الخدمة ويُفسّر ذلك بازدياد عدد الخلايا الصغيرة من أجل هذا السيناريو. فبمضاعفة عدد الخلايا الصغيرة، يُلاحظ أنّ أعظم قيمة للإنتاجية تصل إلى حوالي الضعف أيضاً؛ بشكل أدق إلى 6 Mbps، من أجل المخطط المقترح SORRA Soft وإلى 5 Mbps من أجل المخطط

يبين الشكل (13) تناقص معدل الخدمة مع ازدياد عدد المستخدمين المتواجدين في بيئة الاتصال، وهذه نتيجة واقعية بالنظر إلى الحمل العام للشبكة، ويُلاحظ في هذه الشكل أيضاً تقارب معدلات الخدمة من أجل التقنيات الأربعة المدروسة فيه مع أداء أفضل بالنسبة لمخططنا SORRA مقارنة بالمخططات التقليدية كما هو مُبيّن في الشكل (14) الناتج عن تكبير Zoom in لمنطقة تغيرات منحنى معدل الخدمة من أجل ازدياد عدد المستخدمين من 500 إلى 1000 وذلك انطلاقاً من الشكل (13)، مع ملاحظة أنّ أداء مخطط SORRA المبني على أساس Strict هو أفضل من مخطط تقنية Strict الأصلية، والأمر نفسه محقق أيضاً بمقارنة المخطط SORRA المبني على أساس تقنية Soft مع مخططاتها الأصلية. يُلاحظ في الشكل (14) أنّ معدل الخدمة قد ازداد بحدود 2.5%. يمكن بناءً على هذه النتائج ترتيب أداء مخططات تخصيص الموارد المبنية على تقنيتي Strict و Soft، حيث يتضح أنّ Soft SORRA هو أفضلها يليه المخطط المقترح Strict SORRA، ويليه بالتالي المخططين التقليديين Soft FFR ومن ثمّ Strict FFR، مع ملاحظة أنّه من أجل 1000 مستخدم في منطقة تغطية كل خلية ماكرو، يعطي الأداء الأفضل معدل خدمة أعظمي بحدود 6% من أجل المخطط SORRA Soft، ومعدل خدمة أصغري بحدود 3.5% من أجل المخطط التقليدي Strict FFR.

4.4 نتائج السيناريو الثاني

نفترض في هذا السيناريو أنّ عدد المستخدمين يزداد حتى 1500 مستخدم في منطقة تغطية كل خلية ماكرو وذلك انطلاقاً من 50 مستخدم فيها، مع خطوة زيادة تساوي 25 مستخدم في كل خطوة. وبالمثل، يُبين الشكل



الشكل (17) توضيح منحنيات معدّل الخدمة الناجمة عن المحاكاة وفق السيناريو الثاني (الباحث).

وأخيراً، يُبيّن الجدول (5) نتائج المحاكاة لكل من الإنتاجية TH ومعدّل الخدمة SR من أجل حالة تثبيت عدد المستخدمين المتواجدين في منطقة تغطية كل خلية ماكرو في الشبكة الكلية عند العدد 1000 مستخدم، وزيادة عدد الخلايا الصغيرة انطلاقاً من القيم $N_{FemtoCell} = 10$ و $N_{PicoCell} = 6$ إلى القيم $N_{FemtoCell} = 40$ و $N_{PicoCell} = 24$ مع خطوة 10 خلايا فيمتو زيادة و 6 خلايا بيكو زيادة في كل مرة، وذلك مع اعتماد نفس عدد الخلايا الماكرو وعدد العناقيد ثلاثية خلايا الماكرو بشكل مشابه لسيناريوهات المحاكاة السابقة ومع تثبيت باقي معاملات الشبكة، واعتماد كل من المخططين Soft, Strict SORRA. يهدف هذا الجدول إلى إظهار مدى استغلال المخطط المقترح لموارد الخلايا الصغيرة مع ازدياد عددها مع التأكيد على أن أداء المخطّط المقترح مقارنة مع المخطّطات التقليدية قد ظهر أفضليته النسبية استناداً إلى نتائج السيناريوهات الأولى والثاني السابقين. حيث من الواضح ازدياد كل من الإنتاجية ومعدّل الخدمة بطريقة تتقارب من الضعف مع كل خطوة ومرحلة محاكاة جديدة تتضاعف عندها أعداد خلايا الفيمتو والبيكو.

المُتّرح SORRA Strict وذلك من أجل عدد مستخدمين يساوي 1500 مستخدم متوزعين عشوائياً في محيط كل محطة قاعدية من النمط MeNB (مجال تغطية خلية ماكرو). وبالمقابل، ازداد معدّل الخدمة مع ازدياد عدد الخلايا الصغيرة بشكل واضح كما يُبيّن الشكل (17) الناتج عن تكبير Zoom in لمنطقة تعيّنات معدّل الخدمة من أجل ازدياد عدد المستخدمين من 500 إلى 1500 وذلك انطلاقاً من الشكل (16). يُلاحظ من نتائج السيناريو الثاني أيضاً تحسناً في قيم الإنتاجية ومعدّل الخدمة الناتجين عن كل من Strict, Soft SORRA مقارنة بقيمها الناتجة عن كل من Strict, Soft FFR التقليديين وذلك من أجل أعداد مستخدمين يتراوح بين 1000 و 1500 مع أعداد مضاعفة للخلايا الصغيرة المنشورة في الشبكة. يدل هذا بشكل مباشر إلى استغلال أمثل لتوزع الخلايا الصغيرة في بيئة الاتصال، وبالتالي فعالية مفهوم العنقود المميّز لكل مستخدم يرغب بالاتصال. بكلمات أخرى، يتمكّن المخطّط SORRA المُتّرح من استغلال شبه شامل لموارد الشبكة في سبيل تخديم أقصى عدد من المستخدمين وبجودة خدمة اتصال أفضل تتمثّل في قيم كل من الإنتاجية ومعدّل الخدمة الناتجين.

الجدول (5) قيم الإنتاجية TH ومعدل الخدمة SR بتثبيت عدد المستخدمين عند 1000 مستخدم وزيادة عدد الخلايا الصغيرة (الباحث).

$N_{FemtoC} + N_{PicoC}$	16		32		48		64	
	Soft SOR RA	Strict SOR RA						
TH [Mbps]	4.9	4.1	9.8	8.3	19.2	15.6	38.6	30.4
SR	%8	%7	10.5 %	%8.5	14.3 %	13.7 %	17.2 %	15.4 %

6. الخاتمة والأعمال المستقبلية

للخلية الماكرو كمعامل أمثلة أيضاً للحصول على أداء أمثلي لآلية تنفيذ مفهوم العنقود المميز للمستخدم. بالإضافة إلى ذلك، يمكن كأفاق مستقبلية، دراسة أثر تغيير قيم العتبة $RSRP_{Threshold}$ من أجل كل أنماط الخلايا الصغيرة والماكرو المستخدمة في الشبكة، بحيث يمكن الانتقال إلى خوارزمية أمثلة لتخصيص الموارد Optimized Allocation Algorithm لتعتبر مستقبلاً نسخة مطورة عن المخطط SORRA المقترح هنا. في الحقيقة، تُعد نتائج هذا البحث واعدة بالنسبة لأي مُشغل شبكة خلوية في سياق انتقاله المرحلي نحو الجيل الخامس انطلاقاً من الجيل الرابع خاصة مع اعتماد الأمواج المليمترية التي تسمح بزيادة عرض المجال الترددي BW إلى قيم أعلى من 1 GHz بدلاً من 10 MHz المستخدم في هذا البحث، وبالتالي إمكانية زيادة معدل البيانات إلى نسب أكبر بكثير، وهذا مجال بحثي واسع يمكن التطرق إليه انطلاقاً من عملنا هذا والتأكد من سلامته عبر تطبيق نفس فلسفة المحاكاة ولكن مع معاملات جديدة للجدول (4).

جرى في هذا البحث تقديم آلية جديدة أطلقنا عليها SORRA لتخصيص الموارد لمستخدمي نظام الاتصال LTE-A وفق الشبكات الهجينة، تستند إلى تقنيتي Strict, Soft FFR كونهما الحل الأفضل لتنسيق التداخل كما تشير آخر الأدبيات. أظهر المخطط المقترح SORRA تحسناً واضحاً في قيم الإنتاجية ومعدل الخدمة مقارنةً بالمخططات التقليدية لتخصيص الموارد Strict, Soft FFR، ويعود ذلك إلى استثمار أفضل وشامل لموارد كل الخلايا الموزعة في بيئة الاتصال سواء أكانت الخلايا صغيرة أو ماكرو. وكما وجدنا، يتعزز أداء الخوارزمية المقترحة مع ازدياد عدد الخلايا الصغيرة، وذلك مهما كان توزيع المستخدمين في جميع مناطق التغطية في الشبكة LTE-A HetNet. يُحقق مفهوم العنقود المميز IC لكل مستخدم يطلب الاتصال في الشبكة هذا الاستثمار وينفذه على أرض الواقع كما أظهرت نتائج المحاكاة، ويمكن تطويره لاحقاً بحيث يصبح نصف قطر العنقود مُعاملاً قابلاً للأمثلة جنباً إلى جنب مع معاملات عتبة الاستطاعة المستقبلية $RSRP_{Threshold}$ والموضحة في الجدول (3). يمكن أيضاً إدخال معامل نصف قطر المنطقة CRC التابعة

References

1. Chandrasekhar V, Andrews JG, Gatherer A. Femtocell Networks: A Survey. *IEEE Communications Magazine* 2008; 46(9): 59–67
2. Syria awards third license to Wafa Telecom. (2022). Retrieved 6 March 2022, from <https://www.commsupdate.com/articles/2022/02/22/syria-awards-third-licence-to-wafa-telecom/>
3. Behjati, M. (2016). Self-Organising Network Management for Heterogeneous LTE-Advanced Networks (Ph.D). Brunel University London
4. Adebayo, A., Osagie, I., Tope, A., & Pauline, I. (2021). Performance evaluation of ultra-dense macro-femto cellular networks based on efficient channel resource allocation system. *Computer Networks*, 190, 107947. doi: 10.1016/j.comnet.2021.107947
5. Mehta, M., Rane, N., Karandikar, A., Imran, M., & Evans, B. (2014). A self-organized resource allocation scheme for heterogeneous macro-femto networks. *Wireless Communications & Mobile Computing*, 16(3), 330-342. doi: 10.1002/wcm.2518
6. Ruiz Avilés, J., Toril, M., & Luna-Ramírez, S. (2015). A femtocell location strategy for improving adaptive traffic sharing in heterogeneous LTE networks. *EURASIP Journal On Wireless Communications & Networking*, 2015(1).doi: 10.1186/s13638-015-0246-0
7. Ashfaq, K., Safdar, G., & Ur-Rehman, M. (2021). Comparative analysis of scheduling algorithms for radio resource allocation in future communication networks. *Peerj Computer Science*, 7, e546. doi: 10.7717/peerj-cs.546
8. Bai Y, Zhou J, Liu L, Chen L, Otsuka H. Resource Coordination and interference mitigation between macrocell and femtocell. In *IEEE Personal Indoor and Mobile Radio Communications Conference*, Tokyo Japan, 2009; 1401–1405.
9. Guvenc I, Jeong MR, Watanabe F, Inamura H. A hybrid frequency assignment for femtocells and coverage area analysis for co channel operation. In *IEEE Communication Letters*, vol. 12, 2008; 880–882.
10. Juang RT, Ting P, Lin HP, Lin DB. Interference management of femtocell in macro-cellular networks. In *Wireless Telecommunications Symposium*, Tampa, US, 2010; 1–4
11. Bharucha Z, Saul A, Auer G, Haas H. Dynamic resource partitioning for downlink femto-to-macrocell interference avoidance. In *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2010; 77–88
12. Chandrasekhar V, Andrews J. Spectrum allocation in tiered cellular networks. *IEEE Transactions on Communications* 2009; 57(10): 3059–3068
13. Sundaresan K, Rangarajan S. Efficient resource management in OFDMA femtocells. In *Mobile Ad hoc Networking and Computing (MobiHoc)*, New Orleans, LA, USA, 2009; 33–42
14. Cao G, Yang D, Ruihong A, Xuan Y, Zheng R, Zhang X. An adaptive sub-band allocation scheme for dense femtocell environment. In *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Cancun, Quintana Roo, 2011; 102–107
15. Veancy, B., & Yogesh, P. (2020). Fractional Frequency Reuse with Enhanced Scheduling Strategies. *Wireless Personal Communications*, 117(3), 2541-2553. doi: 10.1007/s11277-020-07993-w

16. Ezhilarasi, S., & Bhuvanewari, P. (2021). Maximization of Sum Throughput in LTE Heterogeneous Network using Region Splitting-Based Resource Partitioning Scheme. *Wireless Personal Communications*, 121(1), 905-938. doi: 10.1007/s11277-021-08665-z
17. Chang, Ronald Y., Zhifeng Tao, Jinyun Zhang and C.-C. Jay Kuo. "Dynamic fractional frequency reuse (D-FFR) for multicell OFDMA networks using a graph framework." *Wirel. Commun. Mob. Comput.* 13 (2013): 12-27.
18. T. A. Achhab, F. Abboud and A. Assalem, (2021). "A Robust Self-Optimization Algorithm Based on Idiosyncratic Adaptation of Handover Parameters for Mobility Management in LTE-A Heterogeneous Networks," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 154237-154264, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3127326.
19. Baoling Zhang, (2018), 'Handover Control Parameters Optimization in LTE Networks', Phd thesis, the University of Sheffield, Sheffield
20. Okumura-Hata Model for LTE, (2013): <http://www.teletopix.org/4g-lte/okumura-hata-model-for-lte/>
21. Vijay K. Garg, (2007). in *Wireless Communications & Networking*, ISBN 978-0-12-373580-5, DOI <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373580-5.X5033-9>