مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (٨) العدد(٢) ٢٠٢٤
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (8) No. (2) 2024

تحسين أداء قنوات شبكات الجيل الخامس الخليوية باستخدام الخوارزمية الجينية

م. أريج حسين*

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٤/١/٤ . قُبِل للنشر في ٢٠٢٤/٢/٢٢)

□ ملخّص□

يعتبر التخصيص الأمثل للقنوات أمراً بالغ الأهمية في مجال الاتصالات اللاسلكية، خاصة في شبكات الجيل الخامس الخلوية، حيث يقوم هذا التخصيص بالتأثير المباشر على أداء الشبكة من خلال تحسين قدرتها على استيعاب المكالمات وجلسات البيانات المتزامنة.

في الشبكات الخلوية، يوجد قيود على عدد القنوات المتاحة في كل خلية، وهذا يعني أن توزيع القنوات بشكل غير فعال يمكن أن يتسبب في ازدحام على الشبكة، مما يؤدي إلى حجب المكالمات وتقليل جودة الاتصال للمستخدمين.

هنا تم استخدام الخوارزمية الجينية كأداة لتحسين تخصيص القنوات في شبكات الجيل الخامس الخلوية. حيث تقوم الخوارزمية الجينية بمحاكاة عملية الانتخاب الطبيعي والتطور في العالم الطبيعي، وتم تنفيذ هذا النموذج باستخدام بيئة (PyCharm)باستخدام لغة البرمجة (Python). وتم قياس احتمالية حجب المكالمات (Call Blocking Probability(CBP)) من أجل أعداد مختلفة من مستخدمي الشبكة بهدف تحقيق تخصيص أمثل للقنوات وتقليل احتمالية حجب المكالمات.

الكلمات المفتاحية: الجيل الخامس – تخصيص القنوات – الخوارزميات التطورية– الكروموسوم – احتمال حظر المكالمات.

* مهندسة_ هندسة تكنولوجيا الاتصالات – كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات _ جامعة طرطوس _ طرطوس _ سوريا.

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (٨) العدد(٢) ٢٠٢٤
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (8) No. (2) 2024

-Improving the performance of fifth generation cellular network channels using a genetic algorithm

Eng.Areej Hussein *

(Received 4/1/2024 . Accepted 22/2/2024)

□ ABSTRACT □

Optimal channel allocation is crucial in the field of wireless communications, especially in fifth generation cellular networks, as this allocation directly affects the network performance by improving its ability to accommodate simultaneous calls and data sessions.

In cellular networks, there is a limitation on the number of channels available in each cell, meaning that inefficient distribution of channels can cause congestion on the network, resulting in blocked calls and reduced call quality for users.

Here, genetic algorithm has been used as a tool to improve channel allocation in 5G cellular networks. The genetic algorithm simulates the process of natural selection and evolution in the natural world, and this model was implemented using the (PyCharm) environment using the programming language (Python). Call Blocking Probability (CBP) was measured for different numbers of network users in order to achieve optimal channel allocation and reduce the probability of call blocking.

Keywords: 5G - Channel Allocation -Evolutionary Algorithms- Chromosome - Call Blocking Probability

* Engineer - Information and communications technology engineering- Faculty of Information and Communications Technology - University of Tartous - Tartous - Syria.

١. مقدمة

تطورت الشبكات الخلوية لتصبح جزءاً أساسياً من حياتنا اليومية، مما يمكننا من الاتصال بسهولة أثناء التنقل. تتألف هذه الشبكات من مجموعة من الخلايا حيث توجد محطة أساسية ((Base Station(BS) في كل منها مما يتيح للأجهزة المحمولة الاتصال ببعضها البعض والوصول إلى خدمات متنوعة. ويتحقق التواصل داخل هذه الشبكات بشكل فعال من خلال تخصيص القنوات بشكل جيد. [1]

تتميز شبكات الجيل الخامس (5G) بسرعات عالية للغاية، وزمن انتقال قصير، وقدرات اتصال هائلة. وهذه الخصائص تجعلها مناسبة لدعم مجموعة واسعة من التطبيقات، مثل المدن الذكية وأجهزة الإنترنت من الأشياء((Internet of Things(IoT) وخدمات الوسائط المتعددة ذات النطاق الترددي العالي.[3]

في السيناريوهات التي تحتوي على عدد كبير من الخلايا ومستخدمين ثابتين وقنوات متعددة، يصبح تحدي تخصيص القنوات أكثر تعقيداً. يهدف تخصيص القنوات للمستخدمين إلى عملية التخصيص بطريقة تهدف إلى تحسين أداء الشبكة وتقليل حظر المكالمات والذي يحدث عندما يتعذر على المستخدم إجراء مكالمة بسبب نقص القنوات المناسبة. في هذه الحالات، يصبح تخصيص القنوات بشكل فعّال أمراً بالغ الأهمية لتحقيق أقصى استفادة من موارد الشبكة وتوفير تجربة مستخدم مرضية. يجب أن يأخذ تخصيص القنوات في الاعتبار عوامل متعددة في شبكة تحتوي على خلايا متعددة ومستخدمين ثابتين، مثل عدد القنوات المتاحة في كل خلية، وأنماط الحركة، وقيود التداخل، وسعة الشبكة.

٢. هدف البحث

هدف هذا البحث هو تقليل احتمالية حجب المكالمات (CBP) ضمن قنوات شبكات الجيل الخامس باستخدام الخوارزمية الجينية بهدف الوصول إلى التخصيص الأمثل للقنوات لتحسين جودة الخدمة((Quality of Services(QoS) لمستخدمي الهواتف المحمولة.

٣. طرائق البحث ومواده

تم تنفيذ الخوارزمية الجينية بلغة بايثون ضمن بيئة التطوير المتكاملة (PyCharm). تمت محاكاة عملية تخصيص القناة باستخدام مكتبات: (DEAP(الخوارزميات التطورية الموزعة في Python)) و(NumPy) و(SciPy) و(Matplotlib). قدمت هذه المكتبات الأدوات الأساسية لإنشاء وتحسين الخوارزمية الجينية وإجراء الحسابات الرقمية المطلوبة للمحاكاة. تم إجراء تقييم أداء الخوارزمية باستخدام مقياس احتمالية حظر المكالمات (CBP). وفي هذا البحث، اعتمدنا على دراسات ومراجع علمية حديثة ومتخصصة في مجال الشبكات الخلوية لضمان دقة وجودة النتائج.

٤. شبكات الجيل الخامس (5G)

تعد شبكات الجيل الخامس (5G) تقنية اتصالات لاسلكية متقدمة توفر سرعات عالية جداً وجودة اتصال ممتازة. وتستخدم تقنيات (Mmwave) و (Sub-٦) جيجا هرتز لنقل البيانات بسرعات تصل إلى

جيجابت في الثانية وتتميز بزمن وصول منخفض، وإمكانية دعم العديد من الأجهزة المتصلة في وقت واحد، وتأخير منخفض في نقل البيانات [٦].

الشكل(١): الجيل الخامس ومزاياه

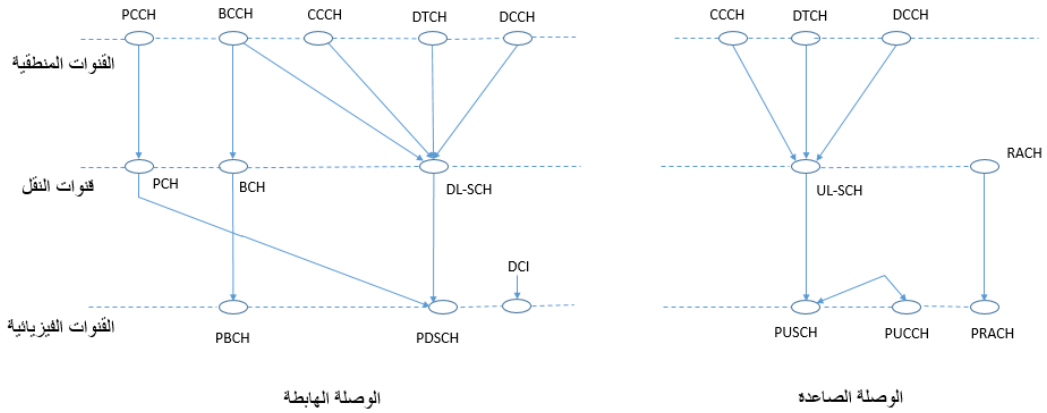
تشمل مزايا 5G ما يلي:

- الكمون المنخفض يدعم تطبيقات مثل الواقع الافتراضي والواقع المعزز.
- دعم أجهزة متصلة متعددة دون التأثير على جودة الاتصال.
- تأخير منخفض مناسب لتقنيات الواقع الافتراضي والأتمتة الصناعية.
- دعم الذكاء الاصطناعي.
- تغطية أفضل وأوسع من الأجيال السابقة.
- أمان عالي في الاتصالات بفضل تقنيات حماية البيانات وأمن الاتصالات.

٤,١ قنوات الجيل الخامس في الشبكات الخليوية

تتميز قنوات الجيل الخامس بسرعات نقل بيانات فائقة السرعة وكفاءة عالية، مما يمكِّن المستخدمين من تجربة تجمع بين السرعة والأداء المتميز في التصفح وتحميل المحتوى الرقمي. تتيح ترددات الجيل الخامس، المتناهية الصغر، استخدام موجات أعلى تردداً مما يُسهِّل اتصال أكثر استقراراً وتوصيل أكبر عدد من الأجهزة دون التأثير على السرعة. بفضل هذه المزايا، ستكون قنوات الجيل الخامس حلاً حيوياً لتلبية متطلبات المستقبل وتحقيق تجربة اتصال أكثر تفوقاً في عالم الهواتف الذكية والتقنيات المحمولة.

يظهر الشكل (٢) أنواع القنوات في شبكات الجيل الخامس:



الشكل(٢): قنوات الجيل الخامس

٤,٢ تخصيص القنوات وأهميتها:

تشير مشكلة تخصيص القناة إلى مهمة تخصيص القنوات المتاحة للمستخدمين في شبكة خليوية بطريقة تعمل على تحسين أداء الشبكة وتقليل المشكلات المحتملة مثل حظر المكالمات والتداخل. يعد التخصيص المناسب للقنوات أمراً بالغ الأهمية لتحقيق اتصال فعال وموثوق به داخل الشبكة.

يمكن أن يؤدي التخصيص غير المناسب للقنوات أيضاً إلى حدوث تداخل بين الخلايا المجاورة. كما يمكن أن يؤدي التداخل إلى انقطاع المكالمات وزيادة معدلات الخطأ وتقليل سرعة نقل البيانات. وبدورها تؤدي هذه المشكلات إلى تفاقم المشكلات المرتبطة بتخصيص القنوات وإعاقة الأداء العام للشبكة. علاوة على ذلك، يمكن أن يؤدي تخصيص القنوات غير الفعال إلى نقص في استخدام موارد الشبكة أو الإفراط في استخدامها . [8]

للتخفيف من هذه المشكلات وضمان الاتصال السلس داخل الشبكة الخلوية، تعد تقنيات التحسين الفعالة لتخصيص القنوات أمراً بالغ الأهمية. غالباً ما تفتقر أساليب تخصيص القنوات التقليدية، مثل تخصيص القناة الثابتة، إلى القدرة على التكيف وتفشل في الاستجابة ديناميكياً لأنماط الحركة المتغيرة ومتطلبات المستخدم. في المقابل، تقدم تقنيات التحسين، مثل الخوارزميات التطورية مثل الخوارزمية الجينية، نهجاً مرناً وديناميكياً لتخصيص القنوات. ومن خلال استخدام تقنيات التحسين، يمكن التعامل مع مشكلة تخصيص القناة بهدف إيجاد أفضل تخصيص ممكن أن يزيد من سعة الشبكة، ويقلل من حظر المكالمات، ويقلل التداخل[4] .

٥. الخوارزميات التطورية

الخوارزميات التطورية هي مجموعة من التقنيات التي تستلهم مفاهيم التطور البيولوجي لحل المشكلات المعقدة. تمثل هذه الخوارزميات أسلوباً متطوراً للحلول المثلى للمشكلات التي يتجاوز تعقيدها قدرة الحلول التقليدية. تعتمد الخوارزميات التطورية على مفهوم التطور الطبيعي لتوليد مجموعة من الحلول البديلة، ومن ثم تحسينها تدريجياً من خلال عملية الانتقاء والتطور عبر الأجيال[15] .

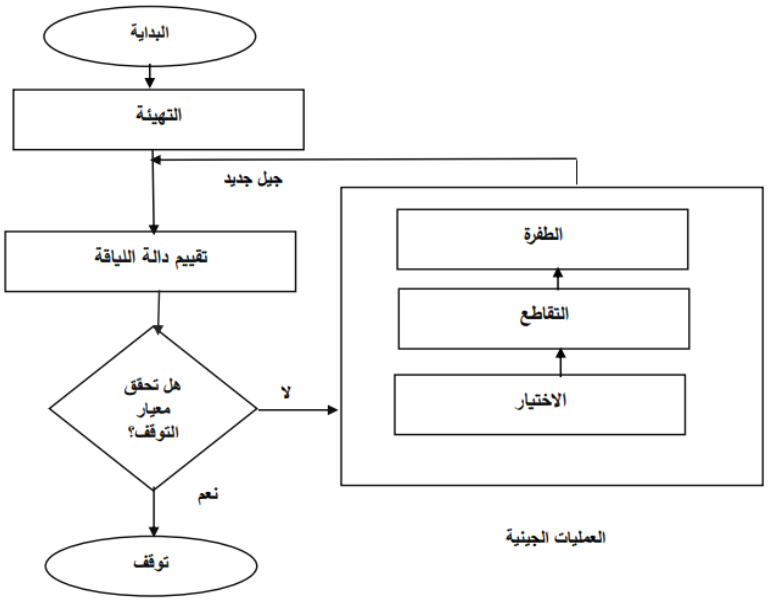
يتمثل دور الخوارزميات التطورية في حل المشكلات المعقدة في قدرتها على استكشاف مساحات بحث واسعة من خلال العمل على مفاهيم الوراثة والتشابه الجيني بين الحلول. تتيح هذه الخوارزميات اكتشاف الحل

الأمثل بطريقة فعالة ومتقدمة. ومن أشهر الخوارزميات التطورية هي الخوارزمية الجينية، التي تعتمد على تمثيل الحلول المرشحة من خلال مجموعات من الجينات، وتقوم بتعديل وتحسين هذه الحلول من خلال الاستفادة من العمليات الجينية مثل الانتقاء والتزاوج والتطور.

٥,١ الخوارزمية الجينية في تخصيص القنوات:

الخوارزمية الجينية هي خوارزمية تطورية وتعتبر تقنية تحسين قوية مستوحاة من عملية الانتقاء الطبيعي والتطور. وقد أثبتت هذه الخوارزمية فعاليتها في حل مشكلات التحسين المعقدة، مما يجعلها مناسبة تماماً لمعالجة مشكلة تخصيص القنوات في شبكات 5G. تعمل الخوارزمية الجينية على أساس مبادئ البقاء للأصلح وفكرة أن أفضل الحلول تميل إلى الحفاظ عليها وتحسينها بمرور الوقت. تبدأ العملية بمجموعة أولية من الحلول المحتملة، يشار إليها بالكروموسومات ويمثل كل كروموسوم تخصيصاً محتملاً للقنوات للمستخدمين في الشبكة الخلوية وتمر الخوارزمية الجينية بعد ذلك بسلسلة من الخطوات التكرارية التي تحاكي عملية الانتقاء الطبيعي والتطور [14].

يبين الشكل (٣) مرحل عمل الخوارزمية الجينية:



الشكل (٣): مراحل عمل لخوارزمية الجينية

٥,٢ احتمالية حظر المكالمات (CBP)

احتمالية حظر المكالمات هو مقياس يستخدم في الاتصالات لقياس احتمالية حظر أو رفض مكالمة أو محاولة اتصال بسبب نقص الموارد المتاحة في الشبكة. ويعتبر مؤشر أداء مهماً يعكس جودة الخدمة التي تقدمها شبكة الاتصالات، مثل الشبكة الخلوية أو نظام الهاتف [١٢].

في دراستنا حول تخصيص القنوات في شبكات الجيل الخامس، تشير احتمالية حظر المكالمات إلى النسبة المئوية لطلبات المكالمات الواردة التي تم رفضها أو حظرها بسبب عدم توفر قنوات أو موارد كافية لإنشاء الاتصالات المطلوبة. يمكن أن يحدث هذا عندما تكون الشبكة مزدحمة بشدة أو عندما تكون السعة غير كافية لاستيعاب جميع محاولات الاتصال المتزامنة. وفي هذا البحث تم اعتماد استدعاء احتمالية الحجب على النحو التالي: [١٢]

$$P_b = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{k=0}^{N} \frac{A^k}{k!}} \qquad (1)$$

حيث:

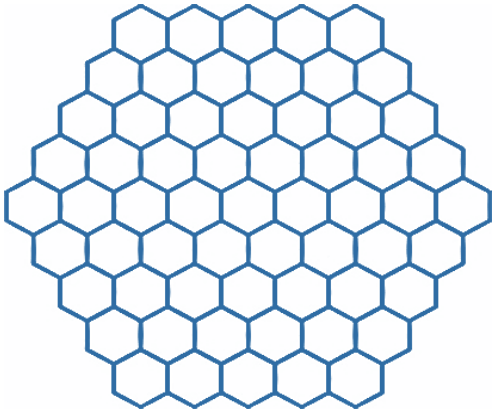
P_b: احتمالية حظر المكالمة، A: حركة المكالمات المقدمة (معدل المكالمات التي تحاول الوصول إلى الشبكة)،

N: عدد القنوات أو الموارد المتاحة في الشبكة. حيث يشير انخفاض احتمال حظر المكالمات إلى أداء أفضل للشبكة، إذ يشير إلى أنه يتم إنشاء المزيد من طلبات الاتصال بنجاح دون حظر.

٦. النموذج المقترح للعمل

الخطوة الأولى: في هذه الخطوة تم بناء شبكة خليوية مكونة من ٦١ خلية ماكرو ونصف قطر كل منها ٢٥٠ متر.

يظهر الشكل (٤) هذه الشبكة.



الشكل (٤): نموذج شبكة مكونة من ٦١ خلية

يوضح الجدول (١) بارامترات الشبكة التي تم اعتمادها:

جدول ١ : بارامترات الشبكة

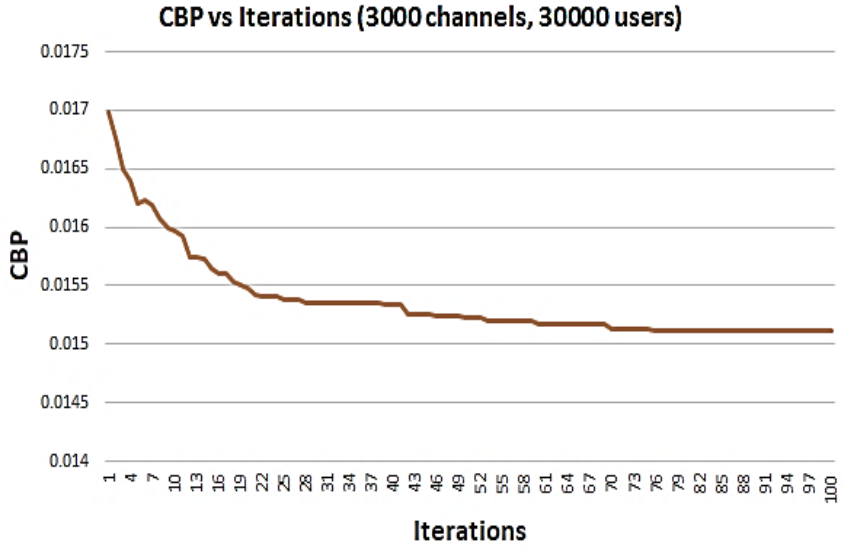
البارامتر	القيمة
عدد الخلايا	٦١
نوع الخلية	macro
نصف قطر الخلية	٢٥٠ متر
ارتفاع المحطة الأساسية(Base Station)	٢٠ متر
عدد الأجيال	١٠٠
معدل الطفرة	٠,١
حجم البطولة	٣
حجم السكان	٥٠
حجم النخبة	١

الخطوة الثانية: تم استخدام دالة التوزيع العشوائي لتوزيع إجمالي عدد القنوات وعدد المستخدمين داخل الشبكة على الخلايا.

الخطوة الثالثة: في لحظة زمنية محددة (لحظة الذروة) تم تطبيق الخوارزمية الجينية على مدى مائة جيل وتم دراسة أداء هذه الخوارزمية من حيث قدرتها على تخصيص القنوات في الخلايا بالشكل الأمثل ودراسة احتمالية حجب المكالمات في ست حالات مختلفة من حيث عدد القنوات المسموح بها داخل الشبكة والتي يمكن تخصيصها للخلايا ومن حيث عدد المستخدمين الموجودين داخل الشبكة حيث تم نمذجة المعادلات الرياضية برمجياً باستخدام لغة البرمجة (Python).

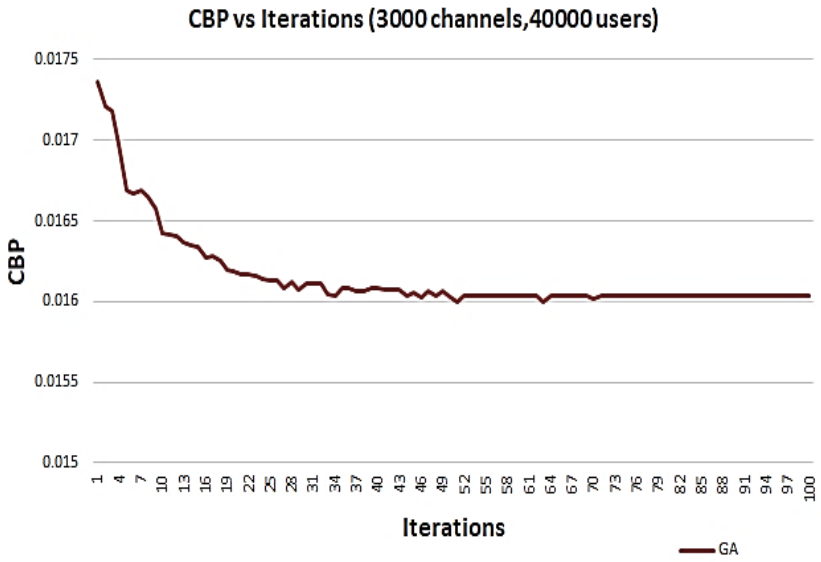
تمت دراسة عدة حالات مختلفة من حيث عدد المستخدمين وتطبيق الخوارزمية الجينية لإيجاد التخصيص الأمثل للقنوات وقياس احتمالية حظر المكالمة (CBP) وتم استخدام برنامج (Excel) لرسم النتائج التي تم الحصول عليها من تطبيق الكود البرمجي للخوارزمية الجينية لأنه يظهر النتائج بشكل واضح ودقيق:

الحالة الأولى: تم توزيع ٣٠٠٠ قناة و٣٠٠٠٠ مستخدم وبعد تطبيق الخوارزمية الجينية تم إيجاد التخصيص الأمثل للقنوات ويبين الشكل (٥) قيم احتمالية حظر المكالمة لكل جيل ونلاحظ ان هذه القيم انخفضت مع ازدياد عدد الأجيال وبلغت قيمتها عند التخصيص الأمثل للقنوات ٠,٠١٥١١٩ والتي حصلنا عليها عند التكرار ٧٥.



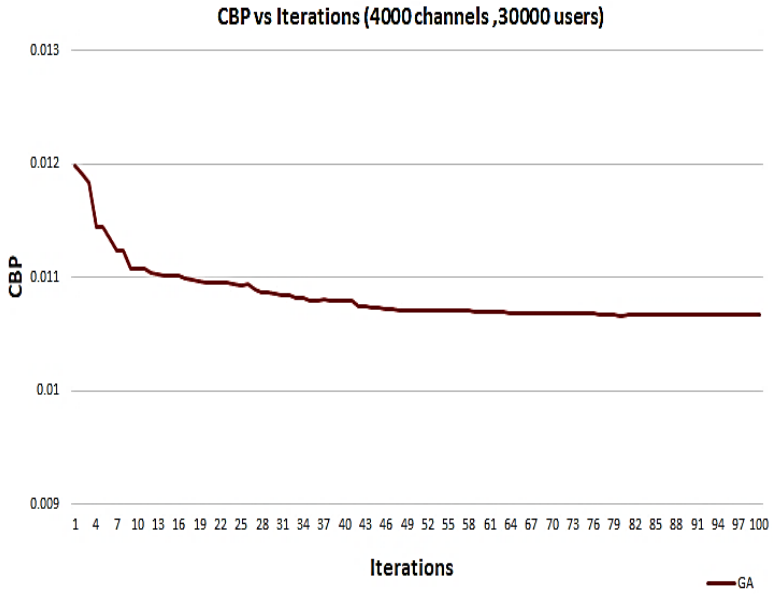
الشكل (٥): CBP مقابل التكرارات في حالة ٣٠٠٠ قناة و٣٠٠٠٠ مستخدم باستخدام GA

الحالة الثانية: في هذه الحالة تم زيادة عدد المستخدمين ضمن الشّبكة إلى ٤٠٠٠٠ مستخدم بينما بقي عدد القنوات المسموح بها في الشّبكة والمخصصة للخلايا ٣٠٠٠ قناة ونتيجةً لاستخدام الخوارزمية تم الحصول على احتمالية حجب المكالمات في الجيل الأول ٠,٠١٧٣٥٩ ثم بدأت هذه القيمة بالانخفاض حتّى بلغت ٠,٠١٦٠٢٩ عند التّخصيص الأمثل للقنوات عند التكرار ٧١. كما هي موضحة مبين في الشكل (٦).



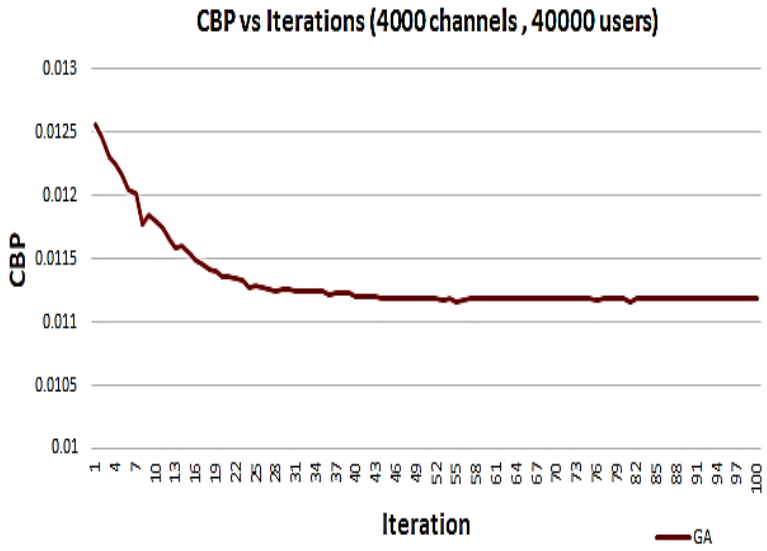
الشكل(٦): CBP مقابل التكرارات في حالة ٣٠٠٠ قناة و٤٠٠٠٠ مستخدم باستخدام GA

الحالة الثالثة: تم زيادة عدد القنوات في الشبكة التي يمكن تخصيصها للخلايا إلى ٤٠٠٠ قناة بإجمالي عدد المستخدمين في الشبكة يساوي ٣٠٠٠٠ مستخدم. وتم الحصول على احتمالية حجب المكالمات في الجيل الأول ٠,٠١١٩٨١ وبدأت تتناقص مع زيادة عدد التكرارات حتى وصلت إلى ٠,٠١٠٦٥٩ عند التخصيص الأمثل كما هو موضح في الشكل (٧).



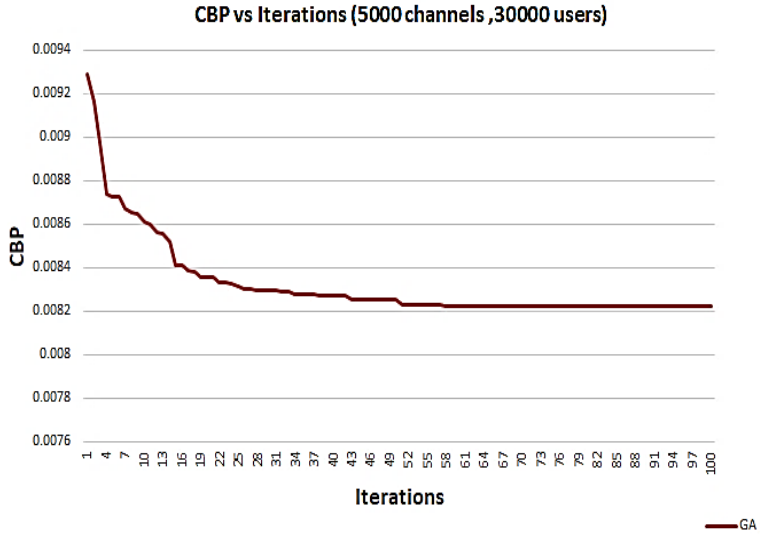
الشكل (٧): CBP مقابل التكرارات في حالة ٤٠٠٠ قناة ٣٠٠٠٠ مستخدم باستخدام GA

الحالة الرابعة: تم اعتماد عدد من القنوات القابلة للتخصيص يعادل ٤٠٠٠ قناة في الشبكة بعدد مستخدمين أكبر من الحالة الثالثة ويساوي ٤٠٠٠٠ مستخدم. وتم الحصول على التخصيص الأمثل للقنوات بقيمة CBP تساوي ٠,٠١١١٤١، كما هو واضح من خط الرسم البياني في الشكل (٨)



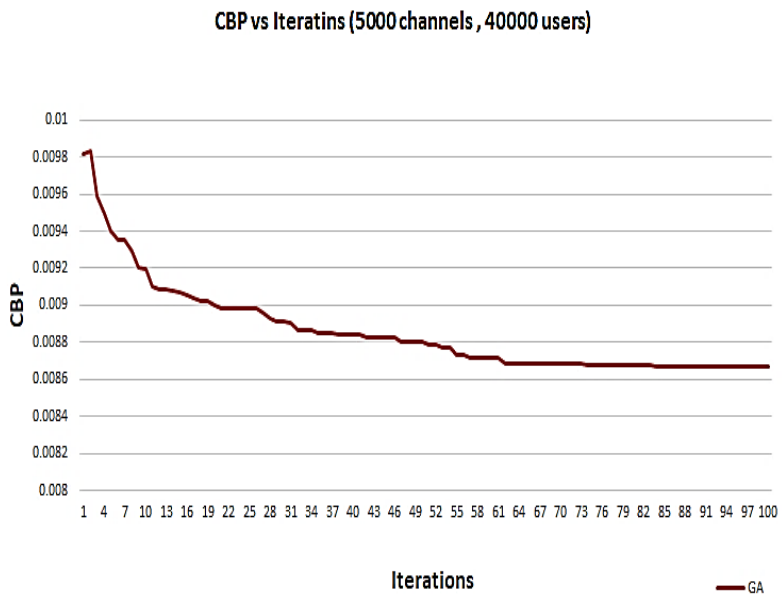
الشكل (٨): CBP مقابل التكرارات في حالة ٤٠٠٠ قناة و ٤٠٠٠٠ مستخدم باستخدام GA

الحالة الخامسة: تم زيادة عدد القنوات القابلة للتخصيص إلى ٥٠٠٠ قناة وكان عدد المستخدمين داخل الشبكة يساوي ٣٠٠٠٠ مستخدم. وبعد تطبيق الخوارزمية الجينية وصلت قيمة CBP إلى ٠,٠٠٨٢٥٠ عند التخصيص الأمثل عند التكرار ٥٨، كما هو موضح في الشكل (٩).



الشكل(٩): CBP مقابل التكرارات في حالة ٥٠٠٠ قناة ٣٠٠٠٠ مستخدم باستخدام GA

الحالة السادسة: في هذه الحالة تم زيادة عدد المستخدمين في الشبكة إلى ٤٠ ألف مستخدم، في حين بقي عدد القنوات القابلة للتخصيص داخل الشبكة ٥٠٠٠ قناة. ثم تم تطبيق الخوارزمية الجينية وكانت احتمالية حجب المكالمات عند التكرار الأول 0.009815، وبدأت بالانخفاض حتى وصلت إلى التخصيص الأمثل للقنوات ووصلت إلى قيمة 0.008643 عند التكرار ٨٤ كما هو مبين في الشكل (١٠).



الشكل(١٠): CBP مقابل التكرارات في حالة ٥٠٠٠ قناة ٤٠٠٠٠ مستخدم باستخدام GA

ويبين الجدول (٢) قيم نسبة احتمالية حجب المكالمة (CBP) في كل حالة:

الجدول (٢): نسبة احتمالية حجب المكالمة(CBP)

	عدد القنوات	عدد المستخدمين	نسبة CBP المثلى باستخدام GA
الحالة الأولى	٣٠٠٠	٣٠٠٠٠	1.512
الحالة الثانية	٣٠٠٠	٤٠٠٠٠	1.602
الحالة الثالثة	٤٠٠٠	٣٠٠٠٠	1.065
الحالة الرابعة	٤٠٠٠	٤٠٠٠٠	1.114
الحالة الخامسة	٥٠٠٠	٣٠٠٠٠	0.825
الحالة السادسة	٥٠٠٠	٤٠٠٠٠	0.864

٧. الاستنتاجات والتوصيات:

تم الاعتماد في هذا البحث على شبكة خلوية من الجيل الخامس مكونة من ٦١ خلية، وتم تطبيق الخوارزمية الجينية على عدد من الحالات المتنوعة التي تتضمن متغيرات مثل عدد القنوات المتاحة وعدد المستخدمين في الشبكة. تم تحليل النتائج المستخرجة من الخوارزمية باستخدام لغة البرمجة (Python) في بيئة عمل(PyCharm) لتقييم أدائها في الحصول على التخصيص الأمثل للقناة وحساب الاحتمال الأمثل لحجب مكالمات (CBP) وبناء على النتائج يتبين ما يلي:

- بمقارنة الحالتين الأولى والثانية نجد أن نسبة الحظر تزداد مع زيادة عدد المستخدمين، وكذلك الأمر بالنسبة للحالة الثالثة والرابعة وكذلك الحالتين الخامسة والسادسة.

- بمقارنة الحالة الأولى والثالثة والخامسة نجد أنه كلما زاد عدد القنوات انخفضت نسبة الحظر لنفس العدد من المستخدمين.
- حققت الخوارزمية الجينية أداء أفضل في جميع الحالات، حيث أنها قادرة على تحقيق احتمال أقل لحجب المكالمات عند كل من التخصيصات المثلى لاحتوائها على مجموعة من العمليات الجينية مثل التقاطع والاختيار والطفرة.

التوصيات

- توسيع نطاق البحث ليشمل الخوارزميات المدعومة بالتعلم الآلي، والتي تشجع تخصيص القنوات بناء على بيانات الشبكة التاريخية والتعليقات في الوقت الفعلي.
- اضافة مقاييس مثل معدلات إسقاط المكالمات (Call Dropping Probability(CDP))كما يمكن مقارنة أداء الخوارزمية الجينية مع الخوارزميات الأخرى لتخصيص القنوات في الشبكة الخلوية.

٨. المراجع:

[1] N. U. Hasan, W. Ejaz, N. Ejaz, H. S. Kim, A. Anpalagan, and M. Jo, "Network Selection and Channel Allocation for Spectrum Sharing in 5G Heterogeneous Networks", IEEE Access, Vol. 4, No. 2016, pp. 980-992, 2016.

[2] S. B. Behera and D. D. Seth, "Resource allocation for cognitive radio network using particle swarm optimization", in IEEE 2nd International Conf. Electronics Communication Systems (ICECS), pp. 665-667, 2015.

[3] L. Lei, D. Yuan, C. K. Ho, and S. Sun, \Power and channel allocation for non-orthogonal multiple access in 5G systems: Tractability and computation", IEEE Trans. on Wirel. Commun., vol. 15, no. 12, pp. 8580{8594, 2016 (DOI: 10.1109/TWC.2016.2616310).

[4] Della Penda, D., Abrardo, A., Moretti, M., et al.: 'Distributed channel allocation for D2D-enabled 5G networks using potential games', IEEE Access, 2019, 7, pp. 11195–11208, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2891823.

[5] Medbo, J., Börner, K., Haneda, K., Hovinen, V., Imai, T., Järvelainen, J., ... & Ylitalo, J. (2014, April). Channel modelling for the fifth generation mobile communications. In The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014) (pp. 219-223). IEEE.

[6] Wu, D., Wu, Q., Xu, Y., Jing, J., & Qin, Z. (2016). QoE-based distributed multichannel allocation in 5G heterogeneous cellular networks: A matching-coalitional game solution. IEEE Access, 5, 61-71.

[7] Venkata Krishna, P., Saritha, V., & Obaidat, M. S. (2020). E2CA-SM: an energy- efficient channel allocation with sleep mode for base station in fifth-generation-based cellular network systems. IET Networks, 9(2), 74-82.

[8] Ohatkar, S. N., & Bormane, D. S. (2016). Hybrid channel allocation in cellular network based on genetic algorithm and particle swarm optimisation methods. Iet Communications, 10(13), 1571-1578.

[9] Mahajan, P. (2021, March). Optimizing the Call Drop Probability in the Wireless Heterogeneous Networks. In 2021 International Conference on Advance Computing and Innovative Technologies in Engineering (ICACITE) (pp. 127-130). IEEE

[10] Benni, N. S., & Manvi, S. S. (2022). Modified PSO Based Channel Allocation Scheme for Interference Management in 5G Wireless Mesh Networks. Journal of Telecommunications and Information Technology, (2)

[11] Mamman, M. (2021). Call admission control algorithm with efficient handoff for both 4G and 5G networks. International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN) Vol, 13.

[12] Nawaf, S. F., Salih, M. O., & Dervish, M. H. (2020). Reduce the probability of blocking for handoff and calls in cellular systems based on fixed and dynamic channel assignment. TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control), 18(4), 1731-1737.

[13] Mandour, M., Elbayoumy, A. D., Hamid, G. M. A., & Abdelaziz, A. M. (2020, March). Dynamic Channel Allocation Scheme for Handover Calls in Cellular Networks. In 2020 3rd International Conference on Information and Computer Technologies (ICICT) (pp. 457-461). IEEE.

[14] Qasim, O. S., & Abed Alhafedh, M. A. (2018). Improved Classification Performance of Support Vector Machine Technique Using the Genetic Algorithm. *AL-Rafidain Journal of Computer Sciences and Mathematics*, *12*(2), 49-60.

[15] Slowik, A., & Kwasnicka, H. (2020). Evolutionary algorithms and their applications to engineering problems. *Neural Computing and Applications*, *32*, 12363-12379.