Study And Comparison Of Resource Allocation Algorithms In A Cellular Network With Relay-Assisted D2D Underlay Connections

Dr. Hiba Amin Haidar*
Sarah Mohamad Abdo**

(Received 15 / 5 / 2024. Accepted 20 / 10 / 2024)

□ ABSTRACT □

Device-to-device (D2D) communication plays a role in meeting data demand, achieving higher data rates, and improving spectral and energy efficiency. The presence of relays improves signal quality and provides a flexible and reliable communication channel for D2D connections. However, when D2D users and cellular users are combined in the same network, it is difficult to effectively allocate resources between these two types of users. This paper addresses the optimization of D2D communication performance and resource allocation using resource allocation algorithms and interference management in both uplink (UL) and downlink (DL) directions to achieve optimal performance in modern cellular networks. It also reviews the use of wireless resource virtualization as a potential solution to increase the demand for mobile data services, provide efficient spectrum utilization, and reduce operating costs. User resource allocation algorithms for uplink and downlink are studied in two parts, the first part includes JUAD (Joint Uplink and Downlink Resource Allocation) and GADIA (Greedy Asynchronous Distributed Interference Avoidance) for uplink, and the second part deals with BIP and Heuristic with WRV (Wireless Resource Visualization) in direct D2D mode and relay-assisted D2D communication mode using MATLAB to improve the efficiency of resource utilization, quality of services provided to users and enhance the efficiency of spectrum utilization, the results showed the superiority of the JUAD algorithm in the uplink case and the BIP algorithm achieved better results in the downlink case.

Keywords: Device-to-Device Communication, cellular network, Resource Allocation, Spectrum Allocation, Resource Allocation Algorithms, GADIA, JUAD, BIP and Heuristic.

Copyright **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Assistant Professor, Department of System and Computer Networks, Factually of Information Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
** **Postgraduate Student (Master), Department of System and Computer Networks, Faculty of Information Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. saraabdo5350@gmail.com**

دراسة ومقارنة خوارزميات تخصيص الموارد في شبكة خلوية تتضمن اتصالات D2D Underlay بمساعدة المرحلات

د. هبه أمين حيدر*

ساره محمد عبدو**

(تاريخ الإيداع 15 / 5 / 2024. قُبِل للنشر في 20/ 10 / 2024)

□ ملخّص □

يلعب الاتصال من جهاز إلى جهاز(D2D - Device-to-device) دوراً في تلبية الطلب على البيانات، تحقيق معدلات بيانات أعلى، تحسين الكفاءة الطيفية وكفاءة طاقة. إذ يساهم وجود المرحلات في تحسين جودة الإشارة وتوفير قناة اتصال مرنة موثوقة لاتصالات جهاز لآخر إلا أن عند دمج مستخدمي D2D والمستخدمين الخلويين في نفس الشبكة يزيد ذلك من صعوبة توزيع الموارد بشكل فعال بين هذين النوعين من المستخدمين. يتناول البحث تحسين أداء اتصالاتD2D وتخصيص الموارد بواسطة خوارزميات تخصيص الموارد وإدارة التداخل في كل من اتجاه الوصلة الصاعدة (UL-Uplink) والهابطة (DL-Downlink) لتحقيق أداء أمثل في الشبكات الخلوية الحديثة. كما يستعرض استخدام المحاكاة الافتراضية للموارد اللاسلكية كوسيلة محتملة لزيادة الطلب على خدمات البيانات المتنقلة وتوفير استخدام فعال للطيف وتقليل تكاليف التشغيل. تم دراسة خوارزميات تخصيص الموارد للمستخدمين بالنسبة للوصلة الصاعدة والهابطة ضمن محورين، يتضمن المحور الأول دراسة خوارزميتي JUAD (Joint Uplink and Downlink Resource Allocation)و (Greedy Asynchronous Distributed Interference Avoidance)GADIA للوصلة الصاعدة، يتناول المحور الثاني خوارزميتي تخصيص الموارد للوصلة الهابطة BIP وHeuristic مع تقنية WRV (Wireless Resource Visualization) ضمن نمط اتصالات D2D مباشرة ونمط اتصالات D2D بمساعدة المرحلات باستخدام MATLAB بهدف تحسين كفاءة استخدام الموارد وجودة الخدمات المقدمة للمستخدمين وتعزيز كفاءة استخدام الطيف الترددي، أظهرت النتائج تفوق خوارزمية JUAD بحالة الوصلة الصاعدة كما أن خوارزمية BIP حققت نتائج أفضل بحالة الوصلة الهابطة.

الكلمات المفتاحية: اتصالات جهاز لآخر، الشبكات الخلوية، تخصيص التردد، خوارزميات تخصيص الموارد، GADIA، JUAD، BIP وHeuristic .

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

* **مدرس، قسم هندسة النظم والشبكات الحاسوبية، كلية الهندسة المعلوماتية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.**

** **طالب دراسات عليا (ماجستير) ، قسم هندسة النظم والشبكات الحاسوبية، كلية الهندسة المعلوماتية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.**

saraabdo5350@gmail.com

مقدمة:

تعد تقنية الاتصال من جهاز إلى جهاز (D2D) واحدة من التقنيات الواعدة للاتصالات الخلوية المستقبلية فهي تسمح للمستخدمين بمشاركة الموارد مع بعضهم البعض حيث تُسهم في تعزيز إنتاجية الشبكة وتوفير طاقة أجهزة المستخدمين وتحسين معدل البيانات الذي يُعد من أهم المتطلبات في الوقت الحاضر [1]، حيث تتمثل أهمية تخصيص الموارد لاتصالات D2D في تحسين كفاءة استخدام الطيف وتقليل التداخل بين المستخدمين فهي تتيح للمستخدمين الثانويين مشاركة الموارد مع المستخدمين الأساسيين بشكل فعال [2].

يُعتبر استخدام المرحلات في الاتصال من جهاز إلى جهاز أمراً حيوياً في تحسين جودة الاتصالات وضمان تغطية الشبكة حيث تلعب دوراً مهماً في توجيه الإشارات وتحسين جودة الاتصال بين الأجهزة المحمولة كما أنه بفضل ميزة حصاد الطاقة تعمل المراحل على تحسين كفاءة استهلاك الطاقة وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية مما يساهم في توفير اتصالات موثوقة وفعالة بين الأجهزة المحمولة بطريقة صديقة للبيئة.

بشكل عام، فإن البحث في مجال تخصيص الموارد لاتصالات الجهاز إلى جهاز يلعب دوراً حاسماً في تحسين أداء الشبكة وتمكين التواصل الفعال بين الأجهزة المتصلة معاً مما يؤدي إلى تحسين جودة الخدمة وتوسيع تغطية الشبكة وتعزيز إنتاجية النظام وتوفير طاقة أجهزة المستخدم كما تتمثل أهمية تخصيص الموارد في D2D في تحسين كفاءة استخدام الطيف وتقليل التداخل بين المستخدمين.

بناء على ما سبق، نسعى إلى دراسة مشكلة تخصيص الموارد في شبكات خلوية تتضمن مستخدمي D2D ومستخدمين خلويين بطريقة فعالة لضمان استفادة كاملة من الطيف المتاح لتلبية احتياجات مستخدمي الشبكة المختلفة بسبب وجود أجزاء غير مستخدمة ضمن نطاق الطيف المخصص مما يؤدي إلى تداخل في الإشارات وتقليل جودة الخدمات المقدمة للمستخدمين، بالإضافة إلى تقييم أداء خوارزميات تخصيص الموارد في حل هذه المشكلة ومقارنتها مع بعضها، فنناقش قدرة هذه الخوارزميات على التكيف مع تغير عدد مستخدمي جهاز لاخر وتحقيقها إنتاجية جيدة ، كفاءة طيفية، كفاءة طاقة وتأخير منخفض في ظل وجود المرحلات، بهدف صياغة مجموعة من الاستنتاجات والتوصيات المساعدة في حل مشكلة إدارة الموارد في شبكات الجيل الرابع التي تستخدم تقنية D2D.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمنُ أهميَّة هذا البحثِ في دراستهِ، وتقييمهِ لأداءِ اتصالات جهاز لآخر بمساعدة المرحلات في الشبكات الخلوية فيما يتعلق بـ إدارة الموارد حيث تُمكن اتصالات D2D الاتصال المباشر بين أجهزة المستخدمين دون الحاجة إلى التواصل عبر المحطة القاعدية مما يساهم في تحسين جودة الخدمات المقدمة للمستخدمين في الشبكات الخلوية حيث تناولت العديد من الأبحاث خوارزميات تخصيص الموارد لاتصالات جهاز لآخر التي تُعتبر جزءاً أساسياً في تكنولوجيا الشبكات الخلوية، كما يمكن أن تساهم المرحلات في تحسين استخدام الموارد الطيفية وتقليل التداخل بين الأجهزة حيث تعمل على تعزيز توجيه الإشارات وإدارتها بطريقة تقلل من التداخل اللاسلكي وتحسن جودة الاتصال بين الأجهزة وبالتالي تحسين جودة الخدمات وتجربة المستخدمين مع تقليل مشاكل التشويش والتداخل مساهماً في تحسين أداء اتصالات D2D.

بشكل عام يمكن القول بأن وجود المرحلات ضروري لتحقيق أداء متميز لاتصالات جهاز لآخر في الشبكات الخلوية وبناءً عليه نهدف في هذا البحث إلى تحسين استخدام موارد الطيف وتقليل التداخل بين أجهزة المستخدمين عن طريق حل مشكلة تخصيص الموارد من خلال تقييم خوارزميات تخصيص الموارد في كل من اتجاه الوصلة الصاعدة والهابطة في شبكة جيل رابع خلوية مع وجود مرحلات والتأكد من قدرة هذه الخوارزميات على زيادة كفاءة استخدام الموارد واستغلال أجزاء الطيف الغير مستخدمة مما يؤدي إلى تحسين أداء الشبكة بشكل عام وتحسين جودة الخدمات المقدمة للمستخدمين حيث يأمل البحث في توفير خدمات أفضل وأكثر كفاءة للمستخدمين لتعزيز تجربتهم في استخدام التكنولوجيا الخلوية.

طرائق البحث ومواده:

استخدم البحث منهجيتين أساسيتين هما منهجية عامة تتضمن دراسة نظرية تشمل استعراض الأساسيّات اللازمة لفهم اتصالات جهاز لآخر (D2D)، وآلية عملها، مع الوقوف عند مشكلة البحث، والتركيز على أسبابها، بالإضافة إلى مناقشة الحلول الممكنة لها، بينما المنهجية الثانية هي منهجية خاصة تتضمن دراسة خوارزميات تخصيص الموارد المستخدمة في القسم العملي من البحث، ومقارنة أداء هذه الخوارزميات ثم مناقشة النتائج بهدف صياغة الاستنتاجات والحلول باستخدم برنامج MATLAB الذي يعتبر أحد الأدوات الرئيسية في الأبحاث العلمية والتقنية بسبب قدراته القوية ومكتباته الواسعة حيث يوفر مجموعة شاملة من الأدوات والمكتبات المتخصصة التي يُمكن استخدامها لتقييم أداء جهاز إلى جهاز في شبكة LTE وتحليل البيانات واستخلاص النتائج.

1- أساسيات نظرية

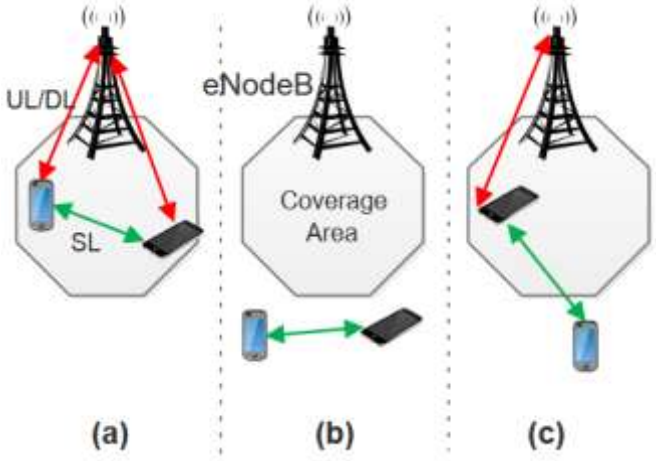
1-1 اتصالات من جهاز إلى جهاز (D2D)

طُرح مفهوم الاتصال D2D مؤخراً للسماح بالارتباط المباشر بين الأجهزة المحمولة لنقل البيانات دون إرسالها عبر المحطة القاعدية BS أو NodeB المتطورة(eNB- evolved NodeB) حيث يعتبر الاتصال من جهاز لآخر أحد الميزات الرئيسية للشبكة الخلوية التي تسمح لأجهزة االمستخدم بالتواصل المباشر بطريقة نظير إلى نظير (P2P- Peer to Peer) دون الحاجة إلى المرور عبر نقطة وصول (AP- Access Point).

تتضمن اتصالات D2D سمة مميزة تتلخص في مساعدة وتنسيق وظائف التحكم فيما بينها لإنشاء الاتصال بين الأجهزة عند استخدامها في الشبكات الخلوية على سبيل المثال تخصيص الموارد، التوجيه، المزامنة، إنشاء الجلسة والمصادقة.

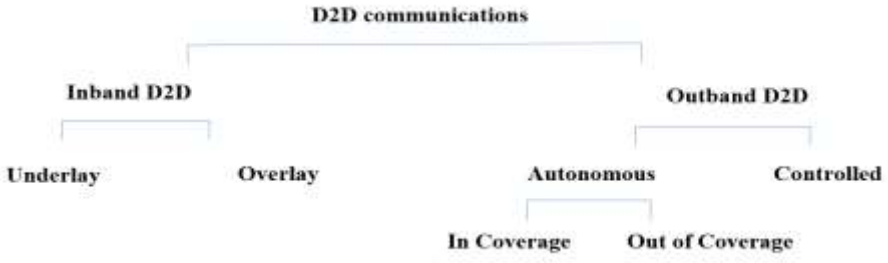
يمكن التمييز بين ثلاثة سيناريوهات للتغطية، يوضحها الشكل(1) و هي [3]:

1. سيناريو داخل التغطية (In-Coverage Scenario): يخضع كل من مرسل ومستقبل D2D لتغطية الشبكة الخلوية.
2. سيناريو خارج التغطية (Out-of-Coverage Scenario): يكون كل من مرسل ومستقبل D2D خارج تغطية الشبكة الخلوية.
3. سيناريو التغطية الجزئية (Partial-Coverage Scenario): إما أن مرسل أو مستقبل D2D خارج تغطية الشبكة الخلوية.



الشكل(1): سيناريوهات التغطية D2D :(a) داخل تغطية الشبكة، (b) خارج تغطية الشبكة ,و(c) التغطية الجزئية للشبكة.

يتم تصنيف الاتصالات D2D حسب الطيف المستخدم إلى نطاق مرخص (inband D2D) أو غير مرخص (outband D2D) ويتم تقسيم النطاق المرخص إلى Underlay D2D و Overlay D2D كما هو موضح في الشكل (2)، يتشارك مستخدمو الاتصالات الخلوية وD2D نفس موارد الراديو في Underlay D2D بينما يتم توفير موارد خلوية مخصصة لكل من الاتصالات الخلوية وD2D في Overlay D2D.



الشكل (2) : موارد الطيف لاتصالات D2D

2-1 المرحلات و حالات الاستخدام

تساعد عقدة الترحيل على توسيع نطاق تغطية الاتصال وتحسين الأداء الكلي للشبكة كما يمكن أن يوفر الاتصال المدعوم بالترحيل مزايا مثل تحسين التغطية وزيادة السعة والموثوقية المعززة، خاصة في السيناريوهات التي قد لا يكون فيها الاتصال المباشر ممكناً .

تشمل حالات الاستخدام المحتملة للاتصال من جهاز إلى جهاز بمساعدة الترحيل اتصالات السلامة العامة وتوزيع المحتوى الشائع حيث يمكن استخدامها في سيناريوهات الكوارث لتوفير وظائف مماثلة لوظائف المحطة القاعدية للمستخدمين الذين هم خارج التغطية شاملاً إدارة الموارد والمزامنة بالإضافة إلى ذلك يمكن استخدام اتصالات D2D بمساعدة الترحيل لتوزيع محتوى الفيديو الشائع داخل مجموعات من الأجهزة، مع إدخال مرحل UE عندما تتجاوز المسافة بين عقد D2D عتبة معينة في شبكات مشاركة المحتوى.

3-1 تقنيات الترحيل

تم تصميم تقنيات الترحيل و توحيدها من قبل 3GPP لتحسين إنتاجية حافة الخلية وتعزيز التغطية الخلوية حيث تؤمن المرحلات الوصول إلى المستخدمين في الوصلة الهابطة و الوصول اللاسلكي إلى المحطة القاعدية في الوصلة الصاعدة.

صُنفت المرحلات إلى ثلاثة أنواع يقدم كل منها ميزات و وظائف مختلفة: [4]

a. مرحل الطبقة 1: يعمل كمحطة إعادة الإرسال وتضخيم الإشارات المستقبلة وإعادة توجيهها إلى الوجهة.

b. مرحل الطبقة 2: تقوم تقنية ترحيل الطبقة 2 بتضخيم الإشارات المستقبلة بعد نجاح فك الترميز و الترميز وإزالة التعديل والتعديل.

c. مرحل الطبقة 3: تتشابه تقنية ترحيل الطبقة 3 مع تقنية ترحيل الطبقة 2 ولكنها تحتوي على بروتوكولات مشابهة للمحطة القاعدية.

يتم استخدام مرحلات جهاز لآخر لمساعدة المستخدمين الذين يعانون من نقص الطاقة في إكمال نقل البيانات [5]، لكن تعاني المرحلات من مشكلة محدودية طاقة اللإرسال نظراً لأنها تعتمد على مزود طاقة ثابتة لذلك تم اقتراح آلية حصاد الطاقة(EH) لجعل المرحلات غير مقيدة بحجم بطارياتها بدلاً من ذلك يتم استخدام الطاقة المحصودة من الإشارات المستقبلة من أجل الترحيل[6] أي توجيه بيانات المصدر وطاقة المرحل تستخدم لعملية معالجة المعلومات ضمن المرحل[7] ، يتم الاستفادة من المرحلات الحاصدة للطاقة بكثرة في إدارة مناطق الكوارث [8].

2- الدراسات المرجعية

2-1 الدراسات المرجعية في اتجاه الوصلة الصاعدة

اقترح الباحثون في [9] تعديل على خوارزمية GADIA الأصلية لتخفيف التداخل في اتصالات D2D و تخصيص التردد الديناميكي من أجل التغلب على مشكلة الحلقة المغلقة بالإضافة إلى ذلك تحدد الخوارزمية المعدلة نمطاً متكرراً لقيمتين مختلفتين وتكسر الحلقة عند أدنى قيمة محددة مسبقاً كما يمكن وصف الإجراء الأساسي في تحديد النمط المتكرر من خلال مقارنة القيمة الحالية مع القيمة التي أسفرت عن تكرارين في حال كان الفرق بين هاتين القيمتين أقل من التسامح المحدد مسبقاً وكانت القيمة الحالية للمتغير أقل من القيمة التي أسفرت عن تكرار واحد فقط تنقطع الحلقة المغلقة، إذا لم يتم استيفاء الشرطين السابقين ستستمر الحلقة وسيتم تكرار نفس العملية في التكرار التالي تعقيباً على هذه الطريقة تتوقف الخوارزمية المعدلة عندما تكون القيمة قيد النظر هي الحد الأدنى.

حقق الباحثون في [10] خوارزمية لتخصيص موارد الوصلة الصاعدة والهابطة المشتركة بغاية تعظيم معدل البيانات الإجمالي لجميع المستخدمين في النظام مع ضمان جودة الخدمة لكل من CUEs (Cellular User Equipment) و DUEs (D2D User Equipment) من خلال مخطط تخصيص موارد الوصلة الصاعدة والهابطة المشتركة (JUAD) المكون من خطوتين، أولاً تخصيص الطاقة المثالية لكل زوج مستخدم خلوي ومستخدم جهاز لآخر (DUE-CUE) محتمل لـ تعظيم معدل البيانات الإجمالي حيث يجب أن تكون طاقة أحد الجهازين أصغر أو تساوي الطاقة العظمى المحددة في {1,0} ثم بعد ذلك يتم تطبيق مخطط المطابقة الثنائي للوزن الأقصى للاختيار أفضل ناقل فرعي من الحوامل الفرعية للشركاء (CUEs) المحددين في الخطوة السابقة لإعادة استخدامه من قبل DUE إلى جانب ذلك يحقق مخطط JUAD تحسيناً كبيراً في أداء النظام من حيث معدل وصول D2D ومعدل بيانات النظام الإجمالي.

2-2 الدراسات المرجعية في اتجاه الوصلة الهابطة

قام الباحثون في [11] بصياغة مشكلة المحاكاة الافتراضية للموارد اللاسلكية مع الاتصال من جهاز لآخر التي تتشارك نفس الموارد مع المستخدمين الخلويين أي النوع (underlying D2D) ضمن الشبكة الخلوية نظراً لأن المشكلة عبارة عن مشكلة برمجة غير خطية صحيحة (INLP- Integer nonlinear programing problem)، يتم تقسيمها إلى مشكلتين صغيرتين وحلها على النحو الأمثل بالإضافة إلى ذلك تم تطوير خوارزميتين إرشاديتين (Heuristic algorithms) أقل تعقيداً كل منهما يحل إحدى المشكلات الفرعية من خلال تخصيص الموارد للمستخدمين الخلويين مع أفضل كسب قناة بشكل تسلسلي ثم اتخاذ قرار أي كتل موارد المستخدمين الخلويين سيتم تشاركها من قبل مستخدميD2D في الشبكة الخلوية نتيجة لذلك تُحقق نتائج قريبة من أفضل النتائج التي تقدمها خوارزمية البرمجة الصحيحة الخطية (BIP) مستخدمة الأسلوب الرياضي لتحقيق أفضل استخدام للموارد بيْد أن المحاكاة الافتراضية للموارد اللاسلكية زادت من إنتاجية النظام وساعد اتصال D2D في التخفيف من تأثير تدهور ظروف القناة .

3-2 الدراسات المرجعية للمرحلات

طور الباحثون في [12] مخطط تخصيص موارد موزع لشبكات الترحيل ثنائية الاتجاه (FDR-Full duplex relay) الافتراضية مع الآخذ بعين الاعتبار الطيف الراديوي و المحطات القاعدية ومحطات الترحيل ثنائية الاتجاه-RNs) (Relay Nodeكموارد افتراضية، التي يمكن تخصيصها ديناميكياً لمستخدمين مختلفين لمقدمي الخدمات.

تقدم المقالة [7] استكشافاً متعمقاً للاتصال من جهاز إلى جهاز بمساعدة الترحيل مع التركيز على جوانب مختلفة مثل تقنية الترحيل، سيناريوهات التطبيق وقضايا البحث، وتناقش استخدام المرحلات في اتصالاتD2D بما في ذلك المرحلات الثابتة والمتنقلة، والتحديات المرتبطة بعدم التركيز على كفاءة الطاقة في اتصالات D2D بمساعدة الترحيل بالإضافة إلى ذلك تؤكد المقالة على أهمية النظر في الأمن في اتصالات D2D بمساعدة الترحيل والحاجة إلى إجراء المزيد من الأبحاث في هذا المجال كما توفر الدراسة رؤى قيمة حول التعقيدات والفرص المرتبطة باتصالاتD2D بمساعدة الترحيل مما يجعلها مورداً قيماً في مجال الاتصالات، حيث يمكن للاتصال أن يتم عبر مرحل عندما تصبح جودة الاتصال ضعيفة بين مرسل و مستقبل D2D [13]، مما يحسن سعة الشبكة ويوسع تغطيتها الذي بدوره يجعل اتصالات D2D أكثر استقراراً [14].

بناء على الدراسات المرجعية سابقة الذكر، سنركز في هذا البحث على مقارنة أداء خوارزميات تخصيص الموارد في كل من اتجاه الوصلة الصاعدة و الهابطة، انطلاقاً من النتائج التي حققتها الخوارزميات سيتم مقارنة خوارزميتي GADIA و JUAD لتخصيص موارد الوصلة الصاعدة وخوارزميتي BIP و Heuristic لتخصيص موارد الوصلة الهابطة.

3- الجانب العملي

يتناول القسم العملي تقييم وتحليل خوارزميات تخصيص الموارد في اتصالات D2D من خلال محورين هما محور اتصالات الوصلة الصاعدة (UL) ومحور اتصالات الوصلة الهابطة (DL) ضمن النطاق المرخص المشترك (IBU-Inband Underlay) حيث يتشارك المستخدمون الخلويون ومستخدمو جهاز لآخر نفس الموارد الراديوية ضمن نمط اتصالات D2D المدعومة بالترحيل بهدف تحديد الخوارزميات الأكثر فعالية في تحسين أداء تخصيص الموارد الراديوية لاتصالات جهاز لآخر.

النتائج والمناقشة:

1-1 تهيئة بيئة العمل

استخدامنا ماتلاب لتنفيذ التجارب العملية في محورين بحثيين هما دراسة خوارزميات تخصيص الموارد على الوصلة الصاعدة والهابطة، في المحور الأول كان الهدف تقييم الإنتاجية، الكفاءة الطيفية و كفاءة الطاقة في ظل تغيير بارامتر عدد مستخدمي جهاز لآخر (D2D)، أما في المحور الثاني كان الهدف تقييم الإنتاجية في ظل تغير بارامترين هما متوسط خسارة التوهين وعدد مستخدمي D2D بالإضافة لتقييم التأخير في ظل تغير بارامتر متوسط خسارة التوهين.

المعايير التي تم تناولها في كلا المحورين:

- الإنتاجية (Throughput) : تُعبر عن القدرة الفعلية للشبكة على إنجاز المهام المطلوبة وتُحدد كفاءة الشبكة في إرسال واستقبال البيانات بالنسبة لزيادة عدد مستخدمي D2D في المحور الأول و زيادة متوسط خسارة التوهين وعدد مستخدمي D2D في المحور الثاني.
- الكفاءة الطيفية(Spectral Efficiency) : تُحدد قدرة الشبكة على استخدام النطاق الترددي المتاح بطريقة فعالة لإرسال واستقبال البيانات بسرعة عالية وبأقل قدر من التداخل مع الشبكات اللاسلكية الأخرى بالنسبة لزيادة عدد مستخدمي D2D في المحور الأول.
- كفاءة الطاقة(Energy Efficiency) : تعبر عن القدرة على استخدام الطاقة بشكل فعال لنقل البيانات بالنسبة لزيادة عدد مستخدمي D2D في المحور الأول.
- التأخير(Delay): هو متوسط الوقت الذي يستغرقه إرسال الحزمة من المصدر إلى الوجهة بالنسبة لزيادة زيادة متوسط خسارة التوهين في المحور الثاني.

2-1 المحور الأول: تقييم أداء خوارزميتي تخصيص الموارد على الوصلة الصاعدة

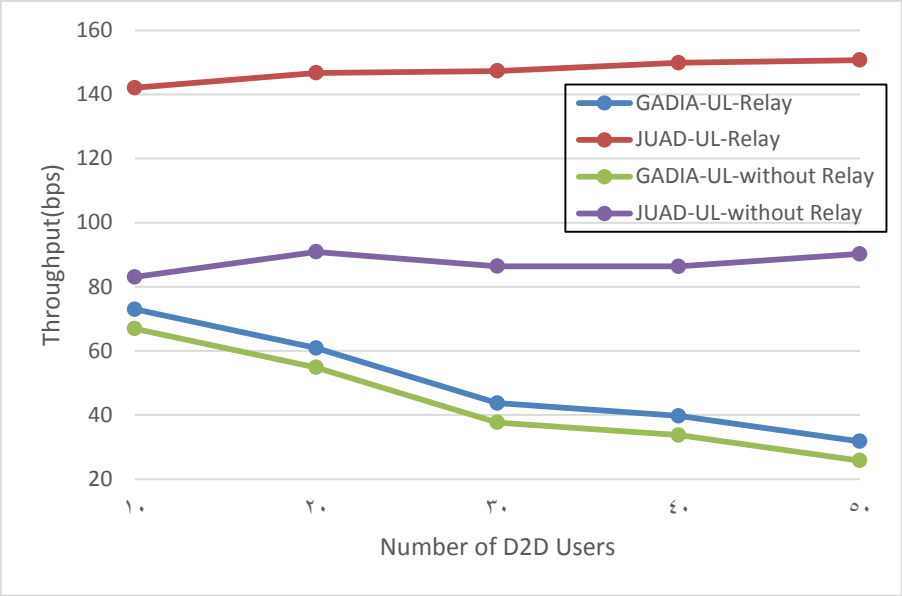
يتم في المحور الأول إجراء تجارب لتقييم أداء خوارزمية تجنب التداخل الموزعة الجشعة غير المتزامنة المعدلة (GADIA-UL) وخوارزمية تخصيص الموارد المشتركة الوصلة الصاعدة والهابطة (JUAD-UL) مع السماح لمستخدمي D2D باستخدام الحوامل الفرعية للوصلة الصاعدة للمستخدمين الخلويين في شبكة خلوية نصف قطرها 500m مع محطة قاعدية واحدة (BS) وعدد من المستخدمين الخلويين (CUEs) ومستخدمي D2D (DUEs) موزعين بشكل عشوائي بمساعدة مرحلات طبقة1 ثابتة ثنائية الاتجاه مجهزة بأجهزة حصاد للطاقة (AF-EH FDR) مع عدد التكرارات يساوي 20، يوضح الجدول (1) قيم بارامترات المحاكاة.

الجدول (1): قيم بارامترات المحاكاة

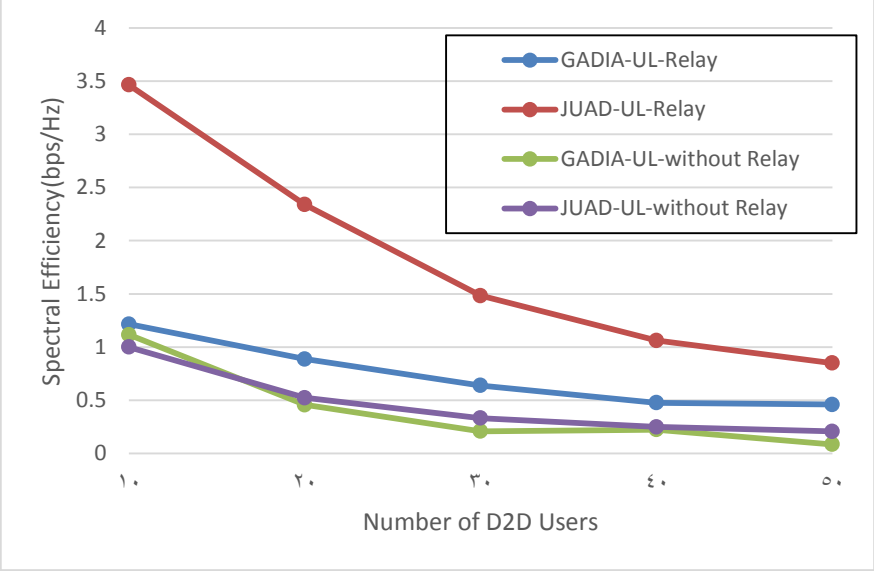
البارامتر	القيمة
نصف قطر الخلية (R)	0.5 km
معامل خسارة المسار (α)	3
ثابت خسارة المسار (G)	10^{-2}
كثافة طيف الضوضاء (N0)	−174 dBm/Hz
طاقة إرسال لـ CUEs	24 dBm
طاقة إرسال لـ DUEs	30 dBm
طاقة إرسال لـ BS	46 dBm
حساسية الـ BS	−100 dBm
طاقة إرسال للمرحلات	30 dBm
عدد الـ CUEs (M)	20
عدد الـ DUEs (N)	20−50
عدد المرحلات	4

1-2-1 دراسة تأثير زيادة عدد مستخدمي D2D على الإنتاجية عند تطبيق خوارزميتي تخصيص الموارد للوصلة الصاعدة:

يوضح الشكلين (3) و(4) الإنتاجية عند زيادة عدد مستخدمي جهاز لآخر في كلا الخوارزميتين مع وجود مرحلات حيث نلاحظ زيادة الإنتاجية مع زيادة عدد المستخدمين عند تطبيق خوارزمية JUAD-UL ومع ذلك تنخفض الكفاءة الطيفية مع زيادة عدد مستخدمي جهازلآخر نظراً لمحدودية الموارد الطيفية وقلتها، تستمر خوارزمية JUAD-UL في إظهار الأداء المتفوق على خوارزمية GADIA-UL المعدلة من حيث الإنتاجية والكفاءة الطيفية يعود ذلك إلى قدرتها على تخصيص الموارد بكفاءة للمستخدمين الخلويين مع السماح لمستخدمي D2D بإعادة استخدام موارد الوصلة الصاعدة المخصصة لـ CUEs في عمليات الإرسال مما يساهم في استغلال موارد الطيف الغير المستخدمة الذي بدوره يقلل هدرالموارد ويضمن استخداماً أفضل لعرض النطاق الترددد المتاح، بالمقابل تفتقر خوارزمية GADIA-UL المعدلة إلى القدرة على التخصيص الأمثل للموارد على الرغم من فعاليتها في تجنب التداخل حيث تركز GADIA-UL على الحد من التداخل وتعيّن قناة طيفية لـ CUEs وقناة طيفية لـ DUEs سامحة تشارك الطيف الترددي وبالتالي تصبح غير قادرة على تحقيق إنتاجية عالية وكفاءة طيفية أفضل مثل JUAD-UL، يسهم وجود المرحلات في تحسين الإنتاجية والكفاءة الطيفية من خلال اختيار المرحلات المدركة للطاقة المناسبة الذي يحسن نقل البيانات ويعزز جودة الإشارة مما يضمن اتصالاً أكثر موثوقية وهذا يقلل من الأخطاء في الاتصال وفقدان الحزم نتيجة للتداخل مقارنة مع حالة عدم وجود مرحلات.



الشكل (3): الإنتاجية بالنسبة لعدد مستخدمي D2D

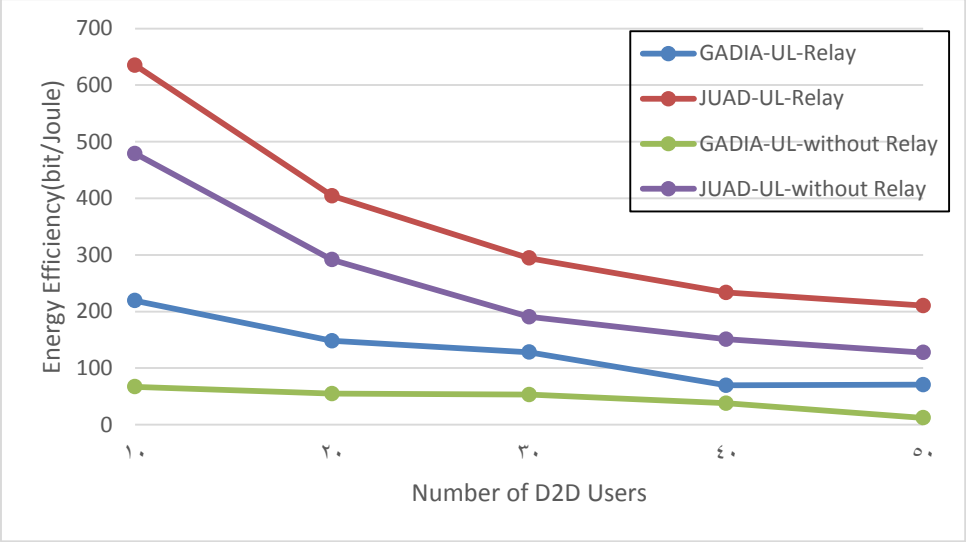


الشكل (4): الكفاءة الطيفية بالنسبة لعدد مستخدمي D2D

1-2-2 دراسة تأثير زيادة عدد مستخدمي D2D على كفاءة الطاقة عند تطبيق خوارزميتي تخصيص الموارد للوصلة الصاعدة

يوضح الشكل(5) كفاءة الطاقة بالنسبة لزيادة عدد مستخدمي D2D، تحقق JUAD-UL استخداماً أفضل لموارد الطاقة مقارنةً بـ GADIA-UL المعدلة من خلال تحسين كفاءة الطاقة حيث تضمن JUAD-UL أن تكون طاقة الإرسال مناسبة لأحد الزوجين (CUE, DUE) ثم تنتقل إلى خطوة تخصيص الحوامل الفرعية للوصلة الصاعدة لإعادة استخدامها من قبل مستخدمي جهاز لآخر الذي بدوره يضمن استخدام الطاقة على النحو الأمثل ويساهم في تقليل استهلاكها لنقل البيانات، من ناحية أخرى تتحكم GADIA-UL المعدلة بشكل بسيط في الطاقة من خلال تشكيل متجه طاقة إرسال أولي لاعتماده ضمن عملية تخصيص كتل الموارد حيث تركز في المقام الأول على الحد من التداخل من خلال تفعيل تقنية تجنب التداخل غير المتزامن الجشعة وهذا يؤدي إلى كفاءة طاقية أقل مقارنة بـ JUAD-

UL، يؤدي اختيار المرحل المدرك للطاقة الأفضل إلى تعزيز كفاءة استخدام الطاقة من خلال ضمان عدم هدر أي طاقة إضافية لإعادة إرسال الحزم المفقودة حيث يمكن توفير طاقة مستدامة وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية والمحدودة باستخدام المرحلات الحاصدة للطاقة وبذلك يساهم في خفض تكاليف التشغيل والصيانة من خلال تقليل الحاجة للاستبدال المتكرر للبطاريات.



الشكل (5): كفاءة الطاقة بالنسبة لعدد مستخدمي D2D

3-1 المحور الثاني:تقييم أداء خوارزميتي تخصيص الموارد على الوصلة الهابطة

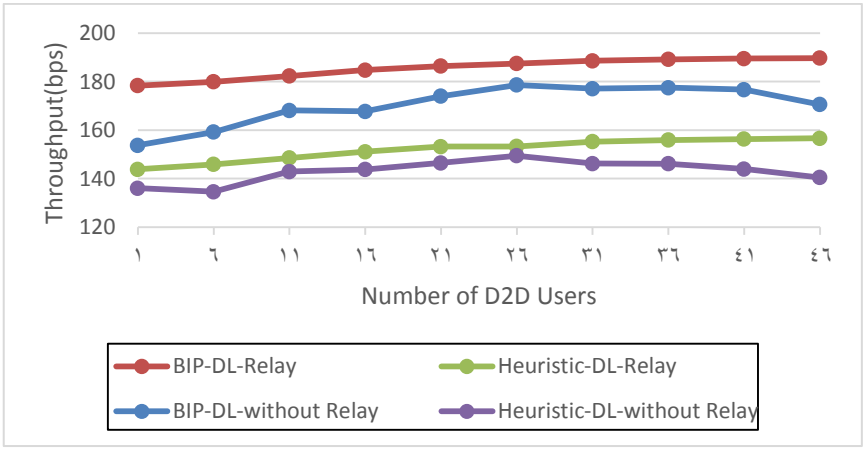
يتم في هذا المحور تقييم أداء كل من الخوارزميتين Heuristic-DL و BIP-DL في حال وجود مرحلات طبقة1 ثابتة ثنائية الاتجاه مجهزة بأجهزة حصاد للطاقة(AF-EH FDR) في الشبكة الخلوية يتوزع فيها المستخدمين الخلويين ومستخدمي جهاز لآخر بشكل عشوائي مع تطبيق النموذج الثاني لتحقيق WRV المبني على الشبكات متعددة المستخدمين في سيناريو خلية واحدة حيث يتم إدارة الخلية من قبل مزود بنية تحتية (InPr) الذي يدعم مزودات الخدمة (SPs) مع وجود مرحلات من أجل تقديم خدمات عالية الجودة للمستخدمين، يوضح الجدول (2) قيم بارامترات المحاكاة.

الجدول (2): قيم وبارامترات المحاكاة

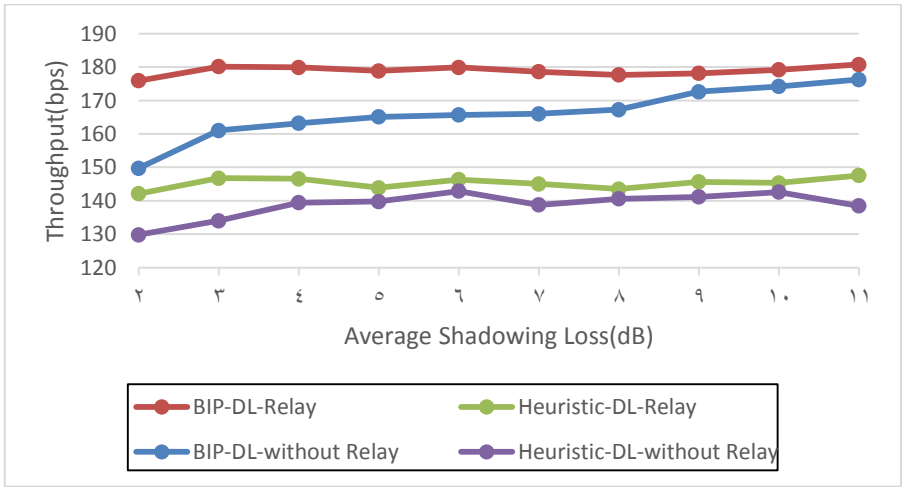
البارامتر	القيمة
تردد الحامل	2 GHz
عدد SP	3
عرض النطاق الترددي لكل SP	10 MHz
عدد RBs لكل SP	50
عدد الحوامل الفرعية لكل RB	12
تباعد الحوامل الفرعية	15 KHz
عرض النطاق الترددي لـ RB	180 KHz
طاقة إرسال eNodeB	20 W
طاقة إرسال UE	24 dBm
طاقة إرسال Relay	27 dBm
الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء	-174 dBm/Hz
عدد CUEs لكل SP	30
عدد أزواج D2D لكل SP	3
عدد الـ Relay	3
انحراف التوهين المعياري المتغير بشكل طبيعي	8 dB

1-3-1 دراسة تأثير متوسط خسارة التوهين و زيادة عدد مستخدمي D2D على الإنتاجية عند تطبيق خوارزميتي تخصيص الموارد للوصلة الهابطة

يوضح الشكلان (6) و(7) تأثير زيادة متوسط خسارة التوهين وعدد مستخدمي D2D على الإنتاجية، تفوقت خوارزمية BIP-DL على Heuristic-DL مما يدل على كفائتها في تخصيص الموارد بفعالية مع وجود المرحلات حيث تأخذ خوارزمية BIP-DL في الاعتبار العديد من العوامل المهمة موفرة حلاً أمثل لتخصيص الموارد الذي يدوره يُحسن أداء النظام من خلال تجنب تكدس الموارد في نقاط محددة و توزيعها بشكل متوازن وفعال، بالإضافة إلى ذلك تساعد المرحلات المدركة للطاقة في تحسين استخدام الموارد و زيادة الإنتاجية لكلا الخوارزميتين من خلال تحسين جودة وتوجيه الإشارات في المناطق ذو التغطية الضعيفة الذي بدوره يساهم في تحسين استقرار النظام وتجنب حدوث انهيارات أو اضطرابات في الأداء إلى جانب تحسين كفاءة استخدام الطاقة مما يخفف من تأثير متوسط خسارة التوهين وزيادة عدد مستخدمي جهاز لآخر.



الشكل (6): الإنتاجية بالنسبة لمتوسط خسارة التوهين

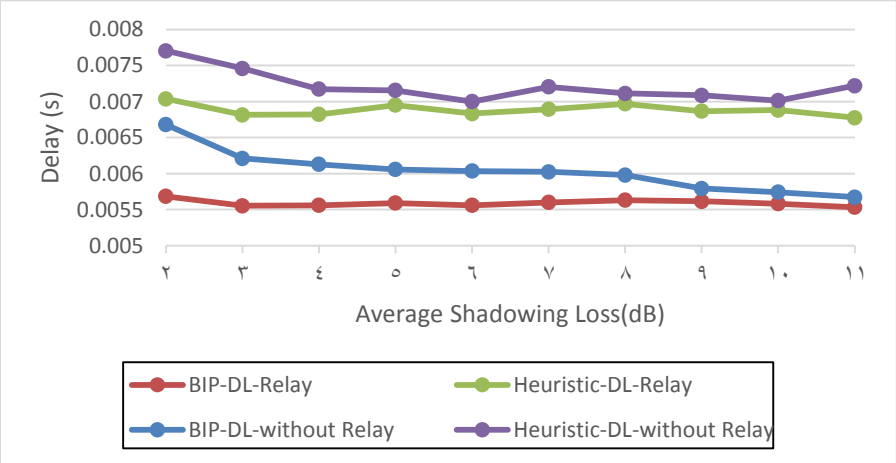


الشكل (7): الإنتاجية بالنسبة لعدد مستخدمي D2D.

2-3-1 دراسة تأثير متوسط خسارة التوهين على التأخير عند تطبيق خوارزميتي تخصيص الموارد للوصلة الهابطة

يمثل الشكل(8) التأخير كتابع لزيادة متوسط خسارة التوهين، وقد أظهرت النتائج تفوق خوارزمية BIP-DL على Heuristic-DL وقدرتها على المحافظة على تأخير في ظل وجود مرحلات مقارنة مع السيناريوهات الثلاثة الآخرى،

ويعود ذلك إلى استراتيجيتها في تخصيص الموارد حيث تخصص مورد لكل مستخدم خلوي و تسمح لمستخدم D2D واحد فقط بمشاركة كتل موارده مما يقلل التأخير بينما لا تنظر الخوارزمية الإرشادية في التأخير ضمن عملية صنع القرار و تنشغل في النضال من أجل تخصيص الموارد على النحو الأمثل مستغرقة وقت أكثر لتفرز المستخدمين الخلويين بناءً على عدد الموارد المخصصة لهم مما يؤدي إلى تأخير أعلى مقارنة بخوارزمية BIP-DL مع زيادة متوسط خسارة التوهين، كما تُحسن المرحلات سرعة نقل البيانات واستخدام الطاقة الذي بدوره يساهم في تقليل التأخير وزيادة استجابة الشبكة.



الشكل (8): التأخير بالنسبة لمتوسط خسارة التوهين.

الاستنتاجات والتوصيات:

قيمنا في هذا المقال أداء خوارزميات تخصيص الموارد على الوصلة الصاعدة و الهابطة عند استخدام اتصالات جهاز لآخر في الشبكات الخلوية، فقارنا أداء خوارزميتي JUAD-UL و GADIA-UL على الوصلة الصاعدة و خوارزميتي BIP-DL و Heuristic-DL على الوصلة الهابطة، وقد أظهرت النتائج أن خوارزمية JUAD-UL قادرة على تحسين عملية تخصيص الموارد والوصول إلى إدارة موارد فعالة قادرة على التكيف مع تغير عدد المستخدمين في حالة الوصلة الصاعدة بالإضافة إلى أن خوارزمية BIP-DL حققت نتائج أفضل بحالة الوصلة الهابطة مما يدل على كفائتها في تخصيص الموارد مع تغير عدد المستخدمين ومتوسط خسارة التوهين عند استخدام اتصالات D2D بمساعدة المرحلات لذلك نوصي باعتماد خوارزمية JUAD-UL لتخصيص الموارد في اتجاه الوصلة الصاعدة واستخدام خوارزمية BIP-DL في تخصيص الموارد وتعزيز أداء الشبكة بشكل عام في اتجاه الوصلة الهابطة عند استخدام المرحلات لتأمين اتصال موثوق بين جهازي D2D عندما تكون ظروف القناة بينهم سيئة.

References:

[1] Katsinis, G. Tsiropoulou, E. Papavassiliou, S.”Multicell interference management in device-to-device underlay cellular networks”. Future internet, 9(3), 2017.
[2] Wang, Li. Tang, H. “Device-to-Device communications in cellular networks”, Springer Briefs in Electrical and Computer Engineering, 2016.
[3]- Khan, A.I, Shah, S.A.A, Akhunzada, A. Gani, A. and Rodrigues, J. P. C.,” TARS: A Novel Mechanism for Truly Autonomous Resource Selection in LTE-V2V Mode 4”. Sensors 2021, 21, 7431, (2021).

[4] Uyoata, U. Dlodlo, M.” Relay Assisted Device-to-Device Communication: Approaches and Issue”. ArXiv: 1810.07799v1 [cs.NI] 27 Sep 2018.
[5]- Li, R. Hong, P. Li, D. Pei, J. “Energy Harvesting-Based D2D Relaying Achieving Energy Cooperation Underlaying”. IEEE International Conference on Communications (ICC) - Shanghai, China (2019.5.20-2019.5.24)], (), 1–7, (2019).
[6]- Wang, D. Zhang, R. Cheng, X. Yang, L. Chen, Ch.” Relay Selection in Full-Duplex Energy-Harvesting Two-Way Relay Networks”. IEEE Transactions on Green Communications and Networking, (), 1–1, (2017).
[7]- Rabie, Kh. Adebisi, B. Nauryzbayev, G.” Full-Duplex Energy-Harvesting Enabled Relay Networks in Generalized Fading Channels”. IEEE Wireless Communications Letters, (), 1–1, (2018).
[8]- S, Ghosh. S, Mondal. S, Roy. S, Kundu.”D2D Communication with Energy Harvesting Relays for Disaster Management”, International Journal of Electronic, (2020).
[9] Sanguankotchakorn, T. Adda, H.K. “Dynamic Frequency Allocation for D2D Communications in Multicell Environment Using Modified GADIA Algorithm”, Conference Paper · October 2019.
[10] Kai C, Xu L, Zhang J, Peng M,”Joint Uplink and Downlink Resource Allocation for D2D Communication Underlying Cellular Networks”. IEEE 2018 10th International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP) - Hangzhou, China (2018.10.18-2018.10.20)], (2018).
[11] Moubayed, A. Shami, A. Lutfiyya, H. Wireless Resource Virtualization with Device-to-Device Communication Underlaying LTE Network. IEEE Transactions on Broadcasting, 61(4), 734–740, (2015).
[12] Liu, G. Yu, F. Ji, H. Leung, V. “Distributed resource allocation in full-duplex relaying networks with wireless virtualization,” in IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM’14), Dec 2014, pp. 4959–4964.
[13]- H, Wang. Y, Wang. Tang, L. and Xia, Y. Wang, H. Wang, Y. Tang, L. and Xia, Y. "D2D Social Selection Relay Algorithm Combined with Auction Principle ".Sensors 2022, 22, 9265, (2022).
[14]- Feng, G. Qin, X. Jia, Z. Li, Sh. “ Energy efficiency resource allocation for D2D communication network based on relay selection”. *Wireless Networks,* (2020).
[15]- Ghosh, S. Mondal, S. Roy, S. Kundu, S.”D2D Communication with Energy Harvesting Relays for Disaster Management”, International Journal of Electronic, (2020).
[16] Yan, P. Zou, Y. Ding X. and Zh, J.”Energy-Aware Relay Selection Improves Security-Reliability Tradeoff in Energy Harvesting Cooperative Cognitive Radio Systems “.IEEE Transactions ,(2020).