

دراسة تأثير عدد هوائيات الاستقبال وتحسين نسبة الإشارة إلى الضجيج على إنتاجية الأنظمة الخليوية

م. ليلى محمد اسماعيل*

(تاريخ الإيداع 1/ 17 / 2021 . قُبِلَ للنشر في 6/ 17 / 2021)

□ ملخص □

تتضمن هذه المقالة دراسة إنتاجية النظام الخليوي الخاص بالجيل الرابع والمسمى التطور طويل الأمد Long Term Evolution (LTE).

تمت الدراسة بالنسبة لعدة قيم لنسبة الإشارة إلى الضجيج (SNR) بهدف معرفة تأثيرها على الإنتاجية وبالتالي تأثيرها على الأداء الكلي للنظام.

بالإضافة إلى أن هذه الدراسة تشمل أيضاً عدد الهوائيات المستخدمة في طرف الاستقبال والذي يعبر عن تقنية الهوائيات المتعددة في الدخل والخرج (MIMO) وهي التقنية الأهم في مجال الاتصالات الخليوية في الوقت الحاضر، حيث تعطي فعاليةً طيفية مرتفعة ونوعية خدمة جيدة جداً.

تساعد نتائج هذه الدراسة في إثبات فعالية تقنية MIMO في الشبكات الغير المتجانسة والكثيفة والتي هي من أهم القضايا في الجيل الخامس الجديد، بالإضافة إلى تحديد قيم SNR الأنسب والتي تعطي الإنتاجية المرغوبة دون استخدام عدد ضخم من الهوائيات.

تمت المحاكاة باستخدام البيئة البرمجية Matlab.

الكلمات المفتاحية: تقنية الهوائيات متعددة المداخل والمخارج MIMO، إنتاجية النظام الخليوي، وهوائيات الاستقبال.

*قائم بالأعمال، كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات-قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات-جامعة طرطوس-طرطوس

Study the effect of the number of receiving antennas and improving the signal-to-noise ratio on the throughput of cellular systems

Eng. Laila Mohammad Esmaeil

(Received 17 / 1 / 2021 . Accepted 17 / 6 / 2021)

□ ABSTRACT □

This work examines the throughput of a 4G cellular system called Long Term Evolution (LTE).

The study was conducted concerning several Signal to Noise Ratio (SNR) values to find out their effect on throughput and thus their effect on the overall system performance.

In addition, this study also includes the number of antennas used at the receiving end, which expresses the Multiple Input-Multiple Output (MIMO) technology, which is the most important technology in the field of cellular communications at present, as it gives high spectral efficiency and very good service quality.

The results of this study help prove the effectiveness of MIMO technology in heterogeneous and dense networks, which are one of the most important issues in the new fifth-generation, in addition to determining the most appropriate SNR values that give the desired throughput without using a large number of antennas.

Simulation completed using Matlab software environment.

Key Words: Multiple Input- Multiple Output (MIMO) technique, cellular system throughput, and receiving antennas.

1- مقدمة

يتزايد الطلب، كل سنة، في الاتصالات المتنقلة بشكل كبير ويشترك المزيد من المستخدمين بالخدمات المتنقلة عريضة النطاق. بالإضافة إلى ذلك، فإن الهواتف الذكية والأجهزة اللوحية ذات المقدرات والتطبيقات القوية في الوسائط المتعددة قد أصبحت شعبية ومُنشرة بشكل متزايد، وهذا يخلق طلبات جديدة، وبالتالي زيادة هائلة في حجم البيانات والإجراءات المتبادلة. [1]

تلبية هذه الطلبات وغيرها تستدعي وجود عدة عوامل وتقنيات قادرة على التكيف بسهولة مع التغيرات والتقلبات في طلبات المستخدم على مدار الزمن والموقع، وأهم هذه التقنيات هي تقنية الهوائيات المتعددة المداخل والمخارج MIMO التي أثبتت الدراسات فعاليتها الطيفية العالية وملائمتها لأغلب الأنظمة الحديثة. [1]

2- هدف البحث

انطلاقاً من الأعداد المتزايدة للمستخدمين والتجهيزات الذكية، وانطلاقاً من تزايد الطلبات على الخدمات عالية المستوى وخصوصاً تطبيقات الزمن الحقيقي Real Time Applications، وبسبب التوجهات الحالية نحو بناء مجتمع ذكي بعيداً تماماً عن التدخل البشري من خلال تفعيل إنترنت الأشياء Internet of Things (IoT) الذي سيكون العنوان العريض للجيل الخامس الخليوي القادم المُطوّر عن نظام LTE.

فإنّ هذا البحث يهدف إلى إجراء عملية مقارنة لقيم الإنتاجية الخاصة بنظام LTE من أجل عدة قيم لعدد الهوائيات المُستخدمة في طرف الاستقبال أي من أجل عدة حالات لتقنية MIMO. بالإضافة إلى دراسة تأثير قيم SNR على النسب المئوية لكمية البيانات المتبادلة بشكل صحيح، الأمر الذي يُمهّد الطريق نحو متطلبات وقضايا الجيل الخامس والتي تتطلب التواجد المشترك والعمل المتزامن للعديد من الشبكات المتغايرة في نفس المكان.

3- طرائق البحث ومواده

أنجز هذا البحث بالاعتماد على دراسات علمية حديثة مُتخصّصة في أنظمة الاتصالات الخلوية المتقدمة وتقنيات الهوائيات الحديثة. كما استخدمت البيئة البرمجية Matlab في تصميم النموذج المحاكي وعرض نتائجه.

بالإضافة إلى اعتماد لغة البرمجة C++ لبناء الواجهات التفاعلية المُستخدمة في المحاكاة.

3-1 نظام LTE:

أدى التزايد في الطلب على البيانات إلى اختراق أنظمة الجيلين الثاني والثالث مما ولد الحاجة إلى نظام اتصال ذو سعة أكبر. كما أدى إلى تناقص دور المجال Circuit-switched المسؤول عن نقل المكالمات وتنامي دور النطاق Packet-switched المسؤول عن نقل البيانات. [2]

مما ولد الحاجة إلى نظام اتصالات موحد لتأمين الاتصالات الصوتية ونقل البيانات بنفس النطاق. يبسط الانتقال الكامل إلى النطاق Packet-Switched بنية الشبكة المركزية وبالتالي يُخفّض زمن التأخير مما يفتح المجال أمام التطبيقات التي تتطلب النقل بالزمن الحقيقي.

يُعتبر LTE من الناحية النظرية من الجيل الثالث حيث يمثل 3.9 من الجيل الثالث الممثل بنظام Universal Terrestrial Telecommunication System (UMTS) ويعتبر تطوير في إمكانيات هذا الجيل من حيث السرعة ومعدل نقل البيانات وإدخال تقنيات حديثة في نظم الاتصالات والمساعدة على التخلص من المشاكل الموجودة حالياً في أنظمة الاتصالات المختلفة، ولا يعتبر LTE نظام مستقل بذاته أو جيل جديد مثل UMTS ولكنه يعتبر تحسين للجيل الثالث ومدخل إلى الجيل الرابع والذي تم اعتماده فعلياً وهو LTE-Advanced حيث سيصل معدل نقل البيانات فيه إلى 1Gbps، ويُسمى LTE تجارياً بالجيل الرابع من الشبكات الخليوية. [2]

2-3 أهداف LTE: [2]

يهدف نظام LTE إلى:

1. زيادة سعة الخلية إلى ثلاث أو أربع أضعاف السعة.
2. تخفيض كلفة البت Cost per bit ووضع نظام فوترة لا يتعلق بحجم المعطيات المتبادلة.
3. الوصول إلى معدل نقل أعظمي 100Mbps على الوصلة الهابطة و50Mbps على الوصلة الصاعدة.
4. إمكانية العمل ضمن الحزم الترددية المستخدمة في عائلات الجيلين الثاني والثالث.
5. زيادة التغطية من خلال تأمين معدلات النقل المطلوبة على مساحات أوسع.
6. تقليل التأخير مما يتيح إمكانية إضافة خدمات جديدة تعمل بالزمن الحقيقي.
7. إتاحة خيارات متعددة لعرض الحزمة الترددية مما يسمح باختيار العرض المناسب لمتطلبات الشبكة.
8. التخلي تماماً عن النطاق CS واستبداله بالنطاق PS.
9. تحسين الأداء على حواف الخلية من خلال التعاون بين المحطات القاعدية.
10. تقليل التعقيد من خلال تبسيط الواجهات البينية Interfaces وتخفيض عددها.

3-3 تقنية MIMO

في الاتصالات اللاسلكية التقليدية، يتم استخدام هوائي واحد في المصدر، ويُستخدم هوائي آخر في الوجهة. في بعض الحالات، يؤدي هذا إلى مشاكل ناتجة عن تأثيرات المسارات المتعددة لأنه عندما يُقابل المجال الكهرومغناطيسي Electromagnetic Field (EM field) بالعوائق مثل التلال والمباني وأسلاك المرافق، فإنها لإشارات الموجية تتبعثر، وبالتالي فإنها تأخذ العديد من المسارات للوصول إلى الوجهة (الهدف). [3]

حيث يؤدي الوصول المتأخر للأجزاء المتناثرة من الإشارة إلى مشاكل مثل الخفوت fading والانقطاع cut-out والاستقبال المتقطع، وهذا يمكن أن يُسبب انخفاضاً في سرعة البيانات وزيادة في عدد الأخطاء.

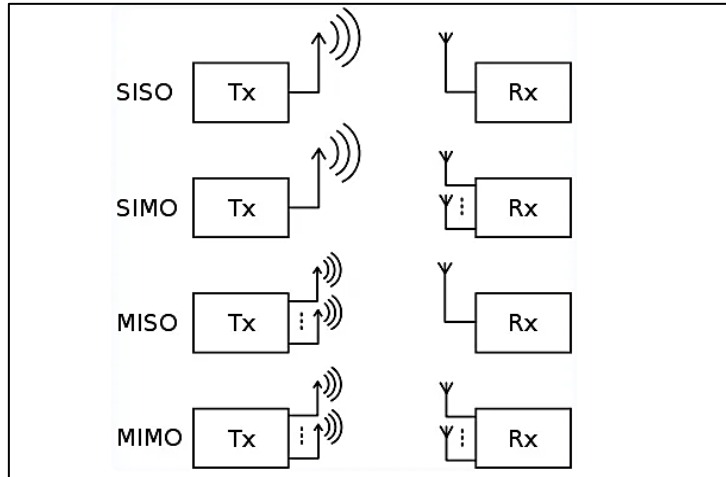
إن استخدام هوائيين أو أكثر، جنباً إلى جنب مع إرسال إشارات متعددة (واحدة لكل هوائي) في المصدر والوجهة، يُزيل المتاعب والمشاكل التي يُسببها انتشار الموجات المتعددة. [3]

تقنية MIMO عبارة عن تقنية هوائيات للاتصالات اللاسلكية، يتم فيها استخدام هوائيات متعددة في كل من المصدر (المُرسل Source) والوجهة (المُستقبل Destination). يتم الجمع بين الهوائيات في نهاية كل إدارة اتصالات من أجل تقليل الأخطاء وتحسين سرعة البيانات.

MIMO هي واحدة من عدة أشكال وأنماط من تقنيات الهوائيات، والموضحة في الشكل (1) وهي:

- Single Input–Single Output(SISO) : (دخل وحيد-خرج وحيد) وتعني استخدام هوائي وحيد في كل من طرفي الإرسال والاستقبال.
- Multiple Input–Single Output (MISO) : (دخل متعدد-خرج وحيد) وتعني استخدام عدة هوائيات في الدخل وهوائي وحيد في الخرج.
- Single Input–Multiple Output (SIMO) : (دخل وحيد-خرج متعدد) وتُمثل حالة استخدام هوائي وحيد في الدخل وعدة هوائيات في الخرج.
- Multiple Input–Multiple Output (MIMO) : (دخل متعدد-خرج متعدد) وهي التقنية الأحدث والتي تمثل استخدام هوائيات متعددة في الدخل والخرج.

يُعود الاهتمام بتكنولوجيا MIMO إلى تطبيقاتها المُحتملة في الاتصالات المُتقلّبة التلفزيون الرقمي Digital Television (DTV)، شبكات المناطق المحلية اللاسلكية Wireless Local Area Networks (WLANs) وشبكات المناطق الحضرية (Metropolitan Area Networks (MANs) [3]. كما تلعب هذه التقنية دوراً مُهماً في تحسين كفاءة الطيف وسعة النظام ومعدلات البيانات الأعظمية للنظم الخليوية. حيث تسمح تقنية MIMO التقليدية بالتضمنين المكاني لتدفقات المعطيات المتعددة عبر قنوات منخفضة الارتباط مع هوائيات منفصلة بشكل كبير أو مُستقطبة عمودياً.



الشكل (1) أنماط الهوائيات

تُستخدم تقنية MIMO لما يلي:

1. خفض معدل خطأ البت (زيادة دقة النظام).
2. زيادة سعة النظام (معدل البيانات الممكن تحقيقه).
3. زيادة مساحة التغطية.
4. تخفيض طاقة الإرسال المطلوبة.

إلا أنّ هذه المزايا تتنافس مع بعضها البعض، ولا يمكن تحقيقها على حدّ سواء. فعلى سبيل المثال، زيادة معدل البيانات تتطلب زيادة إما في معدل الخطأ أو في طاقة الإرسال. وبشكلٍ عام فإنّ طريقة استخدام الهوائيات تعكس القيمة النسبية التي يوليها المصمم لكل من هذه المزايا الأربعة.

ويعتمد انتشار الإشارة في نظام MIMO على حالتين: حالة وجود خطّ نظر بين المرسل والهدف، وحالة غياب خطّ النظر، وتُعطى وفق الصيغة التالية:

$$h_{ij} = \sqrt{\frac{1}{1+K}} h_{ij}^{NLOS} + \sqrt{\frac{K}{1+K}} h_{ij}^{LOS} \quad (1)$$

حيث: عناصر h_{ij} هو توابع النقل الموسّعة بين عنصر الإرسال ذو الترتيب j وعنصر الاستقبال ذو الترتيب i .
 K : هو معامل Rician ويُحدّد بأنّه نسبة الطاقة بين مكونات LOS وNLOS، وتُعطى هذه المكونات وفق العلاقات التالية:

$$h_{ij}^{NLOS} = \sqrt{\frac{1}{L}} \sum_{l=1}^L \alpha_l \exp(-j \frac{2\pi}{\lambda} (D_{il} + D_{lj})) \quad (2)$$

$$h_{ij}^{LOS} = \exp(-j \frac{2\pi}{\lambda} D_{ij}) \quad (3)$$

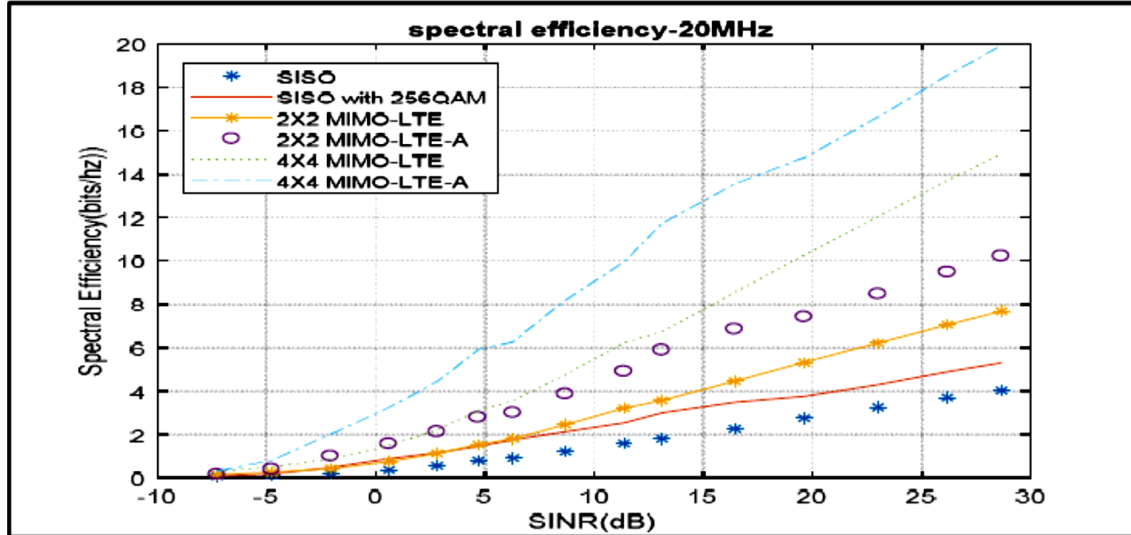
α_l : معامل التشتت، وهو مُتغيّر عشوائيّ عُقدي يأخذ متوسط صفري.

D_{il} : المسافة بين عنصر الاستقبال i والمُستشّت l .

قُدّمت عدة دراسات حول تأثير تقنية MIMO على أداء أنظمة الجيل الرابع، خاصةً نظام LTE، وكان أهمّها الدّراسة المُقدّمة في [4]، والتي تمّ فيها تحليل أداء عدة نماذج من تقنية MIMO وقياس الإنتاجية المتوسطة لجهاز المستخدم وكذلك الفعاليّة الطيفية الموافقة لعدّة قيم SINR.

حيث أوضحت النتائج فعاليّة تقنية MIMO في زيادة الفعاليّة الطيفية لنظام LTE مع تزايد نسبة الإشارة إلى الضجيج، بالإضافة إلى مساهمتها في رفع الإنتاجية المتوسطة للمستخدم أيضاً وتحسين إنتاجية النظام الكلية، كما هو موضّح في الشكل (2).

لكنّ عدد الهوائيات المُستخدمة كان قليلاً وقيم SINR متباعدة قليلاً، لذا قُمنّا في هذا البحث بزيادتها لتحليل الأداء الموافق لحالات إضافية.



الشكل (2) تأثير تقنية MIMO على الفعاليّة الطيفية في أنظمة LTE

أمّا الدّراسة المُقدّمة في [5]، فقد تضمّنت تحليل أداء نوعين من قنوات الانتشار "EVA "Extended Vehicular A" و"Extended Pedestrian A" EPA، مع عدة أنماط لتقنية الهوائيات المتعددة MIMO.

أثبتت هذه الدراسة أن قناة الانتشار EVA تتفوق من ناحية الأداء على EPA حيث تعطي إنتاجية أعلى وذلك عائد إلى التأخير النسبي وطاقة الإرسال الأعلى، لهذا السبب تم اعتماد هذا النوع من قنوات الانتشار في هذه الدراسة.

تضمنت الدراسة المطروحة في [6] مناقشة تأثير طرق الازدواج بتقسيم التردد Frequency Division Duplex (FDD) والازدواج بتقسيم الزمن Time Division Duplex (TDD) مع تجميع الحوامل الترددية على إنتاجية نظام LTE، حيث أثبتت النتائج فعالية هاتين التقنيتين في زيادة إنتاجية كل مستخدم مقارنة مع حالات عدم استخدامها مع فكرة تجميع الحوامل.

3-4 أنماط الإرسال في MIMO

تُصنّف أنماط الإرسال المتعدد MIMO المستخدمة في LTE إلى ثلاثة أصناف: [7]

- التنوع المكاني (Spatial Diversity (SD)

- التنضيد المكاني (Spatial Multiplexing (SM)

- التشكيل الشعاعي Beamforming

التنوع المكاني SD هو النمط الأكثر شيوعاً ويهدف إلى زيادة وثوقية الإرسال والاستقبال بتحسين جودة الإشارة المستقبلية وتخفيض الخفوت باستخدام عدة هوائيات في طرفي الإرسال والاستقبال. ويُقسم إلى تنوع الاستقبال وتنوع الإرسال.

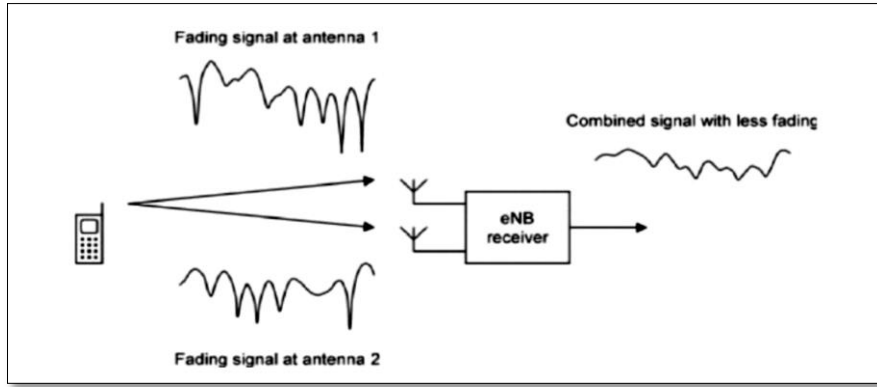
3-4-1 تنوع الاستقبال Receive Diversity

يُطبّق عادةً على الوصلة الصاعدة uplink، بالأسلوب المبين في الشكل (3)، حيث يتم إرسال الإشارة من جهاز نقّال ذو هوائي إرسال وحيد، حيث تستقبل المحطة القاعدية هذه الإشارة مرتين باستخدام هوائيين استقبال فتحصل على نسختين من الإشارة. تصل النسختين إلى هوائيين الاستقبال بانزياح صفحة مختلف لكل منهما، يتم إزالة هذا الاختلاف بتقدير القناة لكل هوائي. وتستطيع المحطة القاعدية بعد ذلك تركيب هاتين النسختين باستخدام أحد تقنيات التركيب بدون مخاطر التداخل الهدّام فيما بينهما. [7]

إذا خضعت النسختان لخفوت شديد في نفس اللحظة الزمنية، فإنّ الإشارة المركّبة ستحمل استطاعة منخفضة في هذه اللحظة. ولكن إذا كانت مسافة التباعد بين هوائيين الاستقبال كافية، بحيث يؤدي ذلك إلى اختلاف المسارات التي تسلكها كل نسخة ومن ثمّ استقلال الخفوت الذي تعاني منه كل نسخة عن الأخرى، سيزيد ذلك من فعالية تركيب النسختين حيث يقلّل من أثر الخفوت في الإشارة المركبة وبالتالي يخفّض معدل الخطأ.

نادراً ما يكون تنوع الاستقبال على الوصلة الهابطة ذو فائدة وذلك لكون مسافة التباعد بين هوائيات

استقبال الجهاز النقّال محدودة. [7]

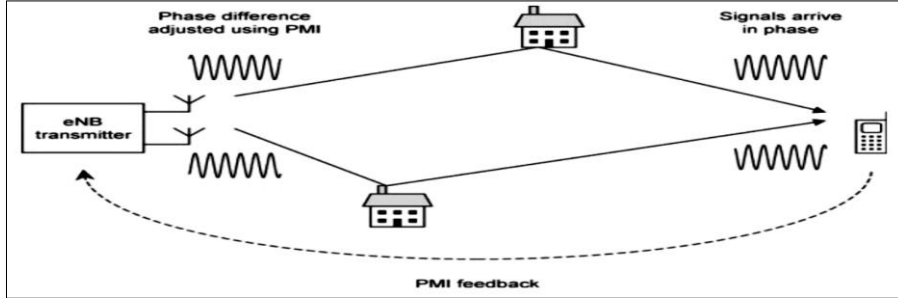


الشكل (3) تخفيض الخفوت باستخدام تنوع الاستقبال

3-4-2 تنوع الإرسال Transmit Diversity

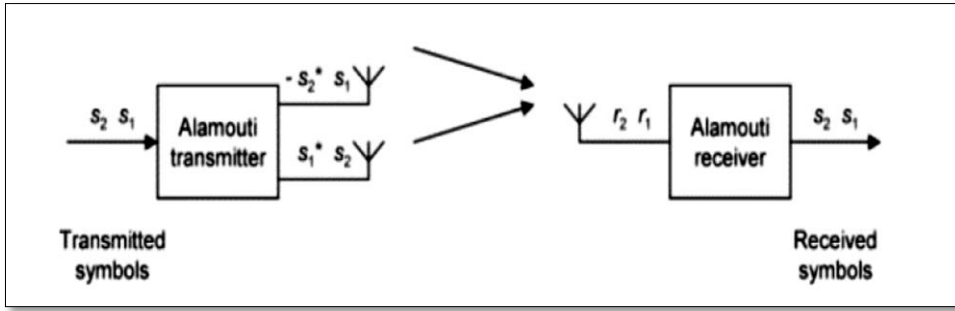
يقلل تنوع الإرسال من أثر الخفوت باستخدام هوائي إرسال أو أكثر. مشكلة هذا النمط أنّ الإشارات تُجمع مع بعضها على هوائي استقبال واحد مما يجعلها عرضة للتداخل فيما بينها بسبب اختلاف الطور. توجد طريقتان لحل هذه المشكلة، طريقة الحلقة المغلقة وطريقة الحلقة المفتوحة. [7]

- **تنوع الإرسال بطريقة الحلقة المغلقة:** يتم إرسال نسختين من الإشارة بعد إزاحة الصفحة لأحدهما أو كلاهما، تتم هذه الإزاحة بحيث تصل النسختان على توافق في الصفحة في طرف الاستقبال. ويتم تحديد مقدار الإزاحة بالاعتماد على المؤشر (PMI) Precoder Matrix Indicator الذي يتم حسابه في طرف الاستقبال وإبلاغ المرسل به الشكل (4).



الشكل (4) تنوع الإرسال بطريقة الحلقة المغلقة

- **تنوع الإرسال بطريقة الحلقة المفتوحة:** تستخدم هذه الطريقة الترميز الكتلي الزمني المكاني (STBC) Space-Time Block Coding، حيث يعتبر ترميز Alamouti أبسط أنواع الترميز STBC. كما موضح في الشكل (5)



الشكل (5) تنوع الإرسال بطريقة الحلقة المفتوحة

3-5 النموذج المستخدم:

يتمثل النموذج المستخدم بواجهة تفاعلية مع المستخدم (GUI) Graphical User Interfaces مُصممة باستخدام برنامج Matlab وباستخدام لغة البرمجة ++C كما يظهر الشكل (6). تُظهر الواجهة المُحدّات التالية:

▪ القناة المرجعية Reference Channel

▪ نمط الازدواج (التضمين) المستخدم في الوصلة والذي يملك احتمالين:

➤ التضمين بالتقسيم الزمني (TDD) Time Division Multiplexing:

تُستخدم قناة ترددية مفردة للإرسال والاستقبال، وفي الواقع يقسم TDD دفق البيانات إلى إطارات وصلة هابطة Down Link وإطارات وصلة صاعدة Up Link.

➤ التضمين بالتقسيم الترددي Frequency Division Multiplexing:

(FDD): يتم استخدام قناتين تردديتين متميزتين واحدة للوصلة الهابطة والأخرى للوصلة الصاعدة مع حزمة أمان بالتردد لفصل الوصلتين الصاعدة والهابطة. [6]

تضمن FDD تقليل التأخير مقارنة ب TDD لأنّ الوصلات الصاعدة والهابطة

تتصل بشكل متزامن.

▪ طريقة الإرسال Transmission scheme: والتي تحدد الآلية المعتمدة في الإرسال والتي

تختلف من نظام لآخر.

▪ نموذج الانتشار Propagation Model: والذي يمثل نمط تأخير الخفوت لتقنية MIMO:

حيث حدّد المعيار 3GPP LTE ثلاث نماذج للخفوت متعدد المسارات وهي: [9]

نموذج لحركية مُشاة موسّعة (EPA) Extended Pedestrian A

نموذج لحركية عربات موسّعة (EVA) Extended Vehicular A

نموذج للحركية في المناطق الحضرية النموذجية (ETU) Extended Typical Urban

Reference channel	R.0
Duplex mode	FDD
Transmission scheme	Port0
PDSCH Rho (dB)	0
Propagation model	Off
Doppler (Hz)	5
Antenna correlation	Low
No of receive antennas	2
SNR	[-2.0 -1.0 1.0 2.0]
Simulation length (frames)	5
No of HARQ processes	8
Perfect channel estimator	Yes
PMI mode	Wideband
Simulation results	simResults
<input type="button" value="Start simulation"/> <input type="button" value="End simulation"/>	
Simulation progress bar	
<input type="button" value="Clear graphs"/> <input type="button" value="Help"/>	

الشكل (6) واجهة النموذج المستخدم

ويوضح الجدول (1) قيم التأخير الموافقة والطاقة النسبية لكل نموذج. [9]

جدول (1) نماذج الانتشار والخفوت مع قيم التأخير والطاقة الموافقة لها [9]

نموذج القناة	قيم التأخير (نانو ثانية ns)	الطاقة النسبية (الديسبل dB)
EPA	[0 30 70 90 110 190 410]	[0 -1 -2 -3 -8 -17.2 -20.8]
EVA	[0 30 150 310 370 710 1090 1730 2510]	[0 -1.5 -1.4 -3.6 -0.6 -9.1 -7 -12 -16.9]
ETU	[0 50 120 200 230 500 1600 2300 5000]	[-1 -1 -1 0 0 0 -3 -5 -7]

▪ انزياح دوبلر Doppler بوحدة الهرتز .

▪ ترابط الهوائيات Antenna correlation: ويعبر عن الترابط بين تجهيزات المستخدم (UE) User Equipment والبرج الذي يسمى في الجيل الرابع بـ NodeB، هل هو منخفض، متوسط، أم مرتفع.

يتم في تقنية MIMO إرسال واستقبال معطيات متعددة على نفس القناة الراديوية في نفس الوقت ومع انتشار متعدد المسارات، وبالتالي من المستحسن استخدام الترابط Correlation بين منفذ الهوائي عند طرفي المرسل والمستقبل، ومن المرغوب دائماً أن يكون الترابط أقل ما يمكن.
ويبين الجدول (2) مستويات الترابط في حالة تقنية MIMO.

▪ عدد الهوائيات في طرف الاستقبال No of receive antennas: حيث يمكن تحديد العدد المطلوب.

Correlation	One antenna	Two antennas	Four antennas
eNodeB	$R_{eNB}=1$	$R_{eNB}=(1 \quad \alpha\alpha^* \quad 1)$	$R_{eNB}=(1 \alpha 19 \alpha 49 \alpha \alpha 19^* 1 \alpha 19 \alpha 49 \alpha 49^* \alpha 19^* 1 \alpha 19 \alpha^* \alpha 49^* \alpha 19^* 1)$
UE	$R_{UE}=1$	$R_{UE}=(1 \quad \beta\beta^* \quad 1)$	$R_{UE}=(1 \beta 19 \beta 49 \beta \beta 19^* 1 \beta 19 \beta 49 \beta 49^* \beta 19^* 1 \beta 19 \beta^* \beta 49^* \beta 19^* 1)$

▪ نسبة الإشارة إلى الضجيج (SNR): حيث يمكن إدخال مجال من القيم لها.

▪ تقدير القناة المثالي Perfect channel estimator: والذي يتم تحقيقه عن طريق ضبط القناة بالتشكيل المطلوب وإرسال مجموعة من الرموز المعروفة لكل هوائي إرسال.

▪ نمط Precoder Matrix Indicator (PMI): مؤشر مصفوفة الترميز المُسبق والذي يحدد كيفية تدفق المعطيات الفردية عبر الطبقات إلى الهوائيات.

الجدول (2) مستويات الترابط في نظام MIMO[5]

β	α	مستوى الترابط لقناة MIMO
0	0	منخفض
0.9	0.3	متوسط
0.9	0.9	مرتفع

يوضح الجدول (3) مصفوفات الترابط المستقلة correlation matrices في eNodeB (R_{eNB}) و UE (R_{UE}) ، وذلك لمجموعة مختلفة من الهوائيات (1,2,4)، والتي تم اعتمادها في هذا البحث.

الجدول (3) مصفوفات الترابط المستقلة [8]

يوضح الشكل (7) النموذج التصميمي المستخدم، حيث تم اعتماد تقنية التنضيد بالتقسيم الترددي، ارتباط منخفض للهوائيات، حزمة عريضة لنمط PMI، تنوع في الإرسال Tx Diversity، وذلك ضمن بيئة ذات حركية عريات مُوسَّعة EVA.

Reference channel	R.0
Duplex mode	FDD
Transmission scheme	Port0
PDSCH Rho (dB)	0
Propagation model	EVA
Doppler (Hz)	5
Antenna correlation	Low
No of receive antennas	6
SNR	[1.0 2.0 4.0 6.0]
Simulation length (frames)	5
No of HARQ processes	8
Perfect channel estimator	No
PMI mode	Wideband
Simulation results	simResults
<input type="button" value="Start simulation"/> <input type="button" value="End simulation"/>	

الشكل (7) النموذج التصميمي المستخدم

النموذج الرياضي المستخدم لحساب الإنتاجية موضَّح في العلاقة التالية: [9]

$$\text{LTE throughput} = \frac{\text{number of PRBs} \times 1000 \times \text{number of antennas}}{10^6} \quad (4)$$

حيث (PRBs (Physical Resource Blocks): صناديق الموارد الفيزيائية المُخصَّصة، يأخذ قيم ضمن المجال (1-110).

و number of antennas يُمثَّل عدد الهوائيات المُستخدمة في تقنية MIMO.

4- النتائج والمناقشة

أجريت مقارنات متنوعة لتحديد الحالات المثلى والأفضل، حيث تسمح الواجهة المُصممة في تحديد عدة قيم ومن أجل عدة محددات.

على يمين الواجهة يوجد نافذتين لرسم المنحنيات:

الواجهة العليا: تُظهر منحنى لتغيرات النسبة المئوية للإنتاجية Throughput مع تغيرات SNR (وهو ما تم ضمن هذا البحث).

الواجهة السفلى: تُظهر منحنى منفصل من أجل كل قيمة SNR مع تغير عدد الإطارات أثناء فترة المحاكاة.

تركز في هذا البحث على دراسة وتحليل قيم الإنتاجية عند تغير عدد هوائيات الاستقبال ومع تغير قيم SNR.

1-4 وجود هوائيين اثنين في طرف الاستقبال:

هذه الحالة تتضمن تغيير مجال SNR كما موضح في الجدول (4)، تم تحليل تأثير القيم المرتفعة والمنخفضة على الإنتاجية وأداء الوصلة.

جدول(4) مجال SNR والأشكال الموافقة

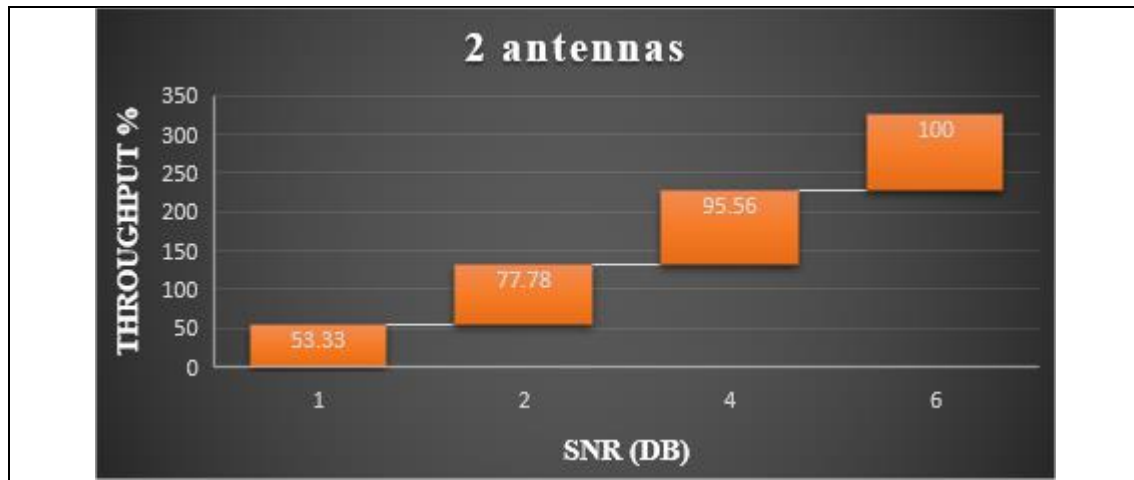
الشكل الموافق على المنحني	قيم SNR
○	1 dB
□	2 dB
☆	4 dB
△	6 dB

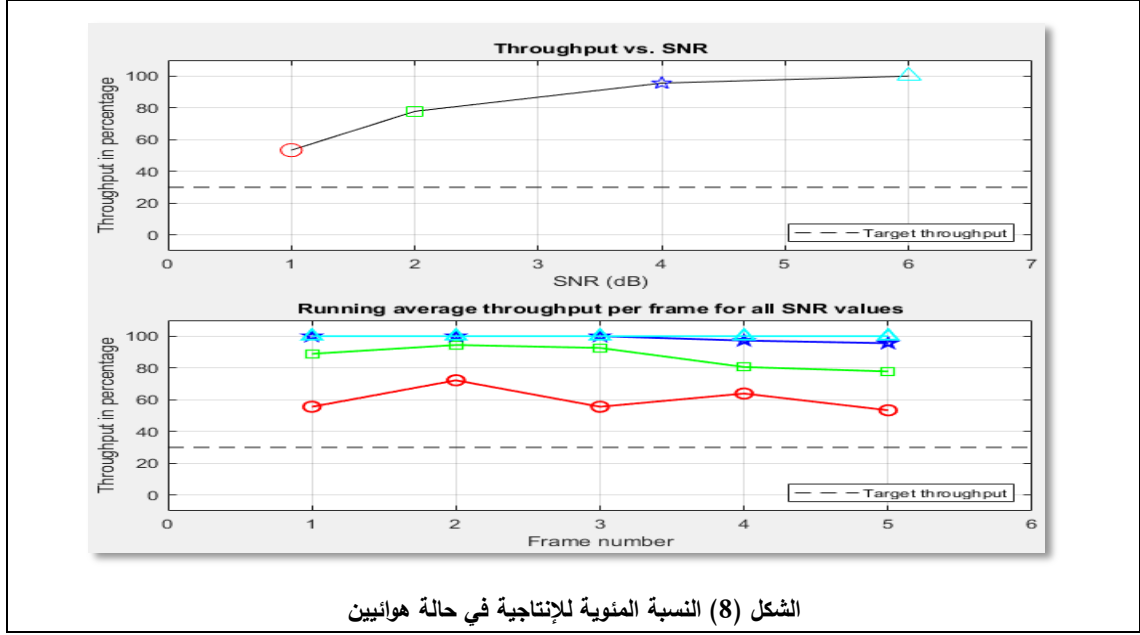
كانت نتائج المحاكاة كما في الشكل (8).

نلاحظ من المنحني والقيم العددية أنه من أجل قيم منخفضة لنسبة الإشارة إلى الضجيج (1dB, 2dB) كانت نسبة الإنتاجية منخفضة وغير مقبولة (53%,78%) ، ولكن مع تزايد نسبة SNR تحسنت الإنتاجية بشكل ملحوظ حيث وصلت إلى 100%.

نستنتج أنه من أجل عدد منخفض من الهوائيات نحتاج إلى نسبة SNR عالية لتحقيق الإنتاجية المرغوبة.

حيث كانت القيم كالتالي:

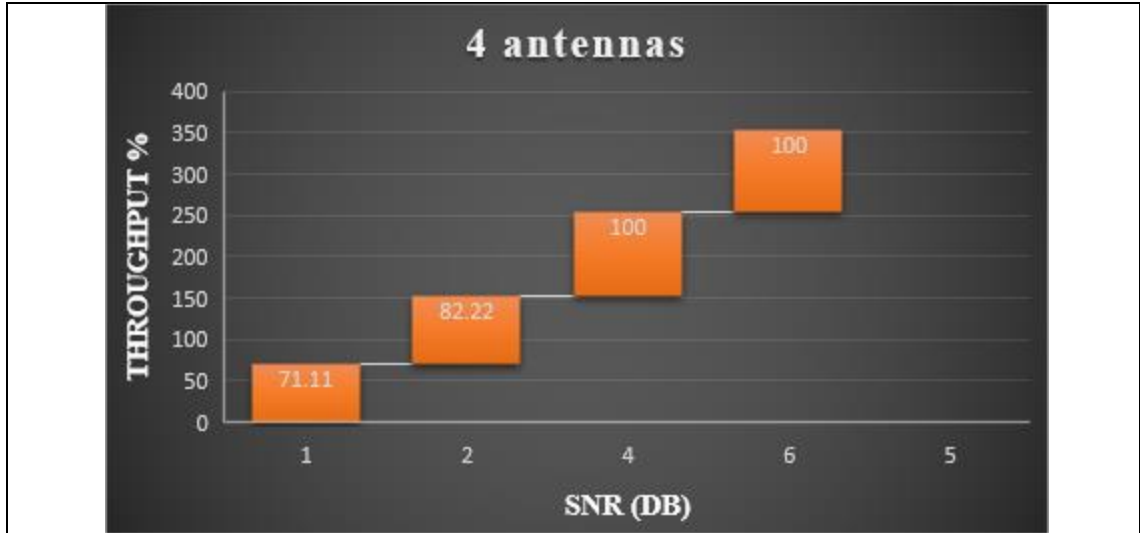


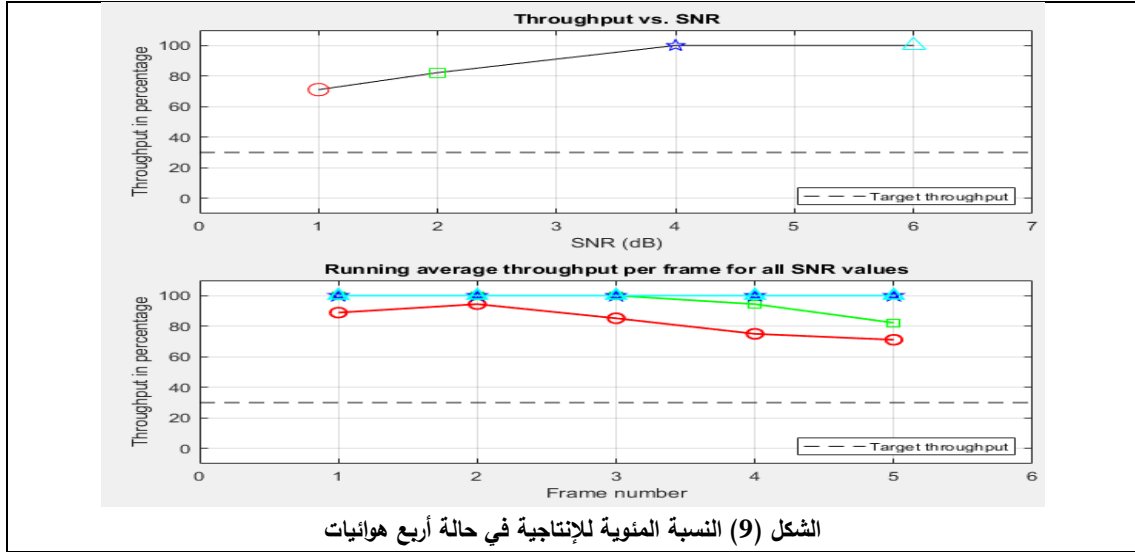


2-4 وجود أربع هوائيات في طرف الاستقبال:

أظهرت نتائج المحاكاة الموضحة في الشكل (9) أنّ زيادة عدد الهوائيات في طرف الاستقبال يُساهم في زيادة النسبة المئوية للإنتاجية.

حيث ازدادت قيم الإنتاجية المقابلة لقيم SNR الأولى والثانية لكنها لم تصل إلى 100% إلا عند قيمة 4dB، بالتالي نحتاج إلى رفع قيم SNR أيضاً للحصول على الأداء المطلوب وضمان وصول البيانات دون فقدان أو ضياع. القيم العددية كانت كالتالي:





الشكل (9) النسبة المئوية للإنتاجية في حالة أربع هوائيات

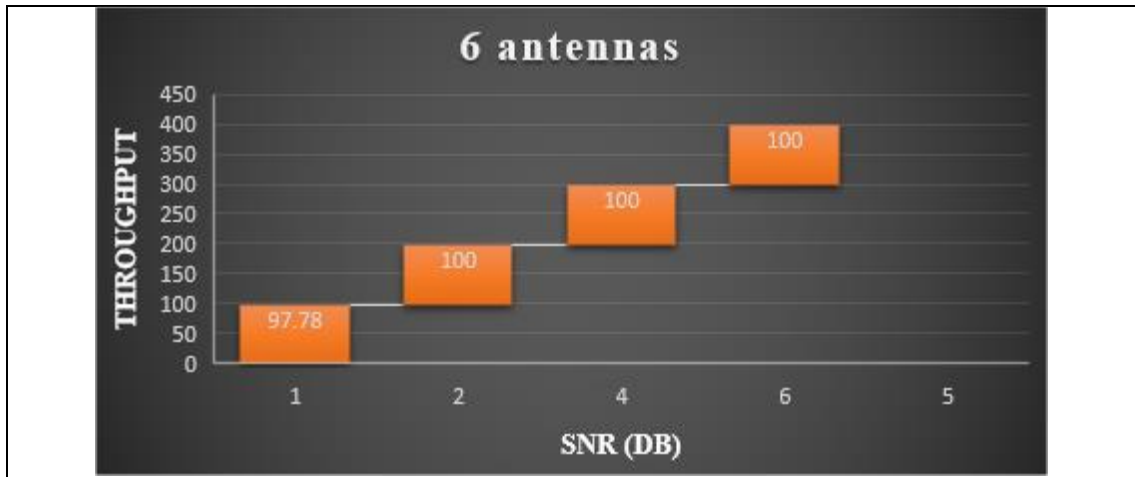
3-4 وجود ست هوائيات في طرف الاستقبال:

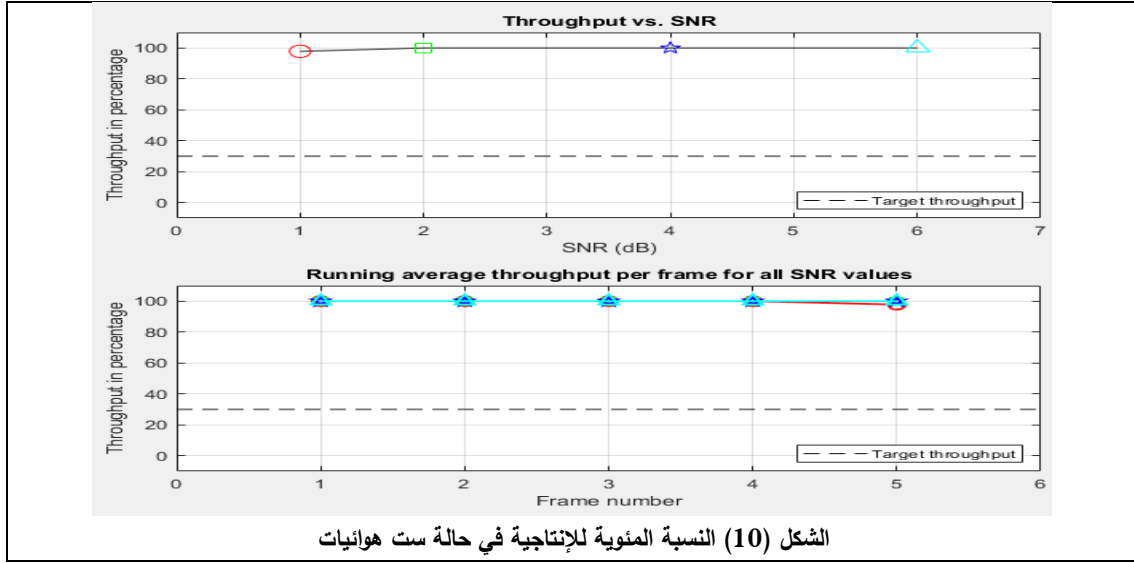
يُظهر الشكل (10) فعالية العدد المتزايد للهوائيات في طرف الاستقبال.

حيث تبين المنحنيات، أنه من أجل حركية متوسطة، فإن العدد 6 للهوائيات هو عدد مقبول بدرجة كبيرة لتحقيق الإنتاجية العالية عند قيم منخفضة للنسبة SNR، حيث أنهم من أجل 1dB كانت النسبة المئوية للإنتاجية حوالي 98%، ووصلت إلى 100% من أجل باقي القيم.

لذلك نجد أنه لا حاجة لرفع قيم SNR بدرجة كبيرة لتحقيق الإنتاجية المرغوبة وهذه نقطة إيجابية مهمة جداً في عمليات التصميم والتخطيط الراديوي، لأن زيادة نسبة الإشارة إلى الضجيج لها جانب سلبي وتتطلب بعض القضايا المكلفة مادياً.

والقيم العددية الموافقة لهذه الحالة هي كالتالي:





5- الاستنتاجات والتوصيات

نستنتج مما سبق:

- ✓ للهوائيات دور مهم للغاية في إنتاجية النظام الخليوي، ولها تأثير كبير على الفعالية الطيفية.
- ✓ MIMO إحدى أهم التقنيات الحديثة التي تُعد بأرباح ممتازة في الجيل الخامس الجديد، حيث يسمح استخدام عدد معين من الهوائيات بتحقيق النسب المرغوبة للإنتاجية، دون الحاجة إلى رفع قيم SNR.
- ✓ زيادة نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR تؤدي إلى زيادة واضحة في الإنتاجية، أيزيادة كمية البيانات المتبادلة بشكل صحيح ودقيق، ولكن زيادة النسبة SNR مكلفة مادياً حيث تتطلب رفع استطاعة الإرسال لدى الجهاز بهدف زيادة الاستطاعة المستقبلية.
- إضافة إلى أن زيادة SNR فوق عتبة معينة ستكون على حساب هدر في الاستطاعة وخاصةً من جهة الجهاز الذي يعمل بالبطارية، علاوةً على أنها ستزيد من التداخل في الشبكة بسبب استخدام استطاعة أعلى لدى الإرسال. لذا من الضروري جداً، عند تصميم النظام، تحديد قيم SNR بعناية ودقة.

6-المراجع

- [1] DAS, S, K.2017, *4G and Beyond*. Wiley Telecom, 337 – 351.
- [2] KUKUSHKIN, A. 2018, *4G- Long Term Evolution (LTE) System*. Wiley Telecom, 205 – 291.
- [3] VANNITHAMBY, R; TALWAR, S.2017, *Massive MIMO Communications*, Wiley Telecom.
- [4] SHAH, P; SAKHARDANDE, K; SHAH, G.2019, *Performance Analysis of LTE Network using QAM and MIMO Configuration*, IEEE.
- [5] ARTHUR, J, K; FORGOR, L; EFFAH, E, *Analyzing the effects of MIMO configuration on the throughput of LTE networks in multipath environments*, IEEE.

[6] PANTHAM, P;PATTARAMAALAI,S.2020,*Simulation of LTE-Network for Throughput Improving Using FDD and TDD Carrier Aggregation*, IEEE.

[7] MESLEH, R; ALHASSI, A.2018,*Space Modulation Techniques*, Wiley Telecom.

[8] STEPHEN, C. 2018, *Propsim 5G channel models and channel emulations*. KEYSIGHT TECHNOLOGIES.

[9]ZHIBA, G, V;PISARENKO,V, P;VEGERA, D, V. 2020,*Analysis of LTE Signal Propagation Models in Wooded Areas for Khabarovsk Highways*, International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies,1-6.