Analyzing the Functional Features of VoLTE Service Using Robust Header Compression (ROHC)

Dr. Yarob badr[*]
Ali T. Alo[**]

(Received 14 / 4 / 2020. Accepted 21 / 6 / 2020)

□ ABSTRACT □

LTE (Long Term Evolution) is a mobile broadband wireless technology developed by the 3GPP to respond to the greedy demand for low latency multimedia applications. For this reason, LTE performance evaluation and optimization directly becomes a hot topic for the scientific community.

The focus of this research is on VoLTE (VoIP over LTE) and more specifically, to study the transport protocols of VoIP calls over LTE-4G cellular network considering different scenarios of congested and non-congested multimedia applications running on the same networks and exhaust the available bandwidth. The cheap cost of making an international VoIP call and paying only one bill is a great benefit. Although its significant advantages, VoIP technology have some known difficulties that becomes serious challenges in the 4G wireless environments such as packet loss, jitter and lips to ear delay. This nature of the wireless radio channel invokes several problems of QoS previously noted parameters and affects QoE satisfaction of the interested users.

Up to this end, the examine presses of many software's and simulation platforms can be used to evaluate the performance of VoLTE. LTE-Sim is the best open source framework to evaluate LTE system and VoLTE scenarios. LTE-Sim permits to evaluate multi-cell/multi-users environments of scheduled devices in uplink and downlink. This simulator encompasses several aspects of LTE networks such as QoS management, user mobility, handover procedures, frequency reuse, radio resource optimization and other aspects.

By applying the Robust Header Compression (ROHC) to VOIP packets and studying the system performance parameters referred to earlier, we can implement a congestion scenario in a LTE network consisting of 900 subscribers located near base stations and 300 remote subscribers. simulation results show that ROHC can be very effectively for near-piont subscribers versus negligible packet loss. For far-point subscribers ROHC is not recommended.

Keywords: LTE, VoLTE , ROHC , Jitter.

[*] **Assistant Professor, Department of Computers and Automatic Control, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria**.

[**] **Postgraduate Student (Master), Department of Computer and Automatic Control, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. Engalialo92@gmail.com**

تحليل الخصائص الوظيفية لخدمة VoLTE باستخدام آلية ضغط الترويسة المتين(ROHC)

د. يعرب بدر*

علي طلال علو**

(تاريخ الإيداع 14 / 4 / 2020. قُبِل للنشر في 21/ 6 / 2020)

□ ملخّص □

التطور الطويل الأمد LTE (Long Term Evolution) هي تقنية اتصال لاسلكية ذات نطاق ترددي عريض تم تطويرها بواسطة 3GPP استجابة للطلب الكبير على تطبيقات الوسائط المتعددة مع متطلبات استجابة زمنية منخفضة لهذا السبب غدا تقييم وتحسين أداء LTE مباشرةً موضوعًا بحثياً مهماً للمجتمع العلمي.

تم التركيز في هذا البحث على نقل الصوت في شبكة LTE والمسماة VoLTE وبشكل أكثر تحديدًا تم التطرق إلى دراسة بروتوكولات نقل مكالمات VoIP عبر الشبكة الخلوية LTE-4G. تم في البحث دراسة عدد من السيناريوهات المختلفة لتطبيقات الوسائط المتعددة المزدحمة وغير المزدحمة التي تعمل على نفس مصادر الشبكة وتستنفد عرض النطاق الترددي المتوفر. إن التكلفة الرخيصة لإجراء مكالمة دولية عبر بروتوكول الانترنت ودفع فاتورة واحدة فقط هي فائدة عظيمة وعلى الرغم من المزايا الهامة التي تتمتع بها تقنية VoIP، إلا أنها تواجه بعض الصعوبات المعروفة التي تتحول إلى تحديات حقيقية في البيئات اللاسلكية لشبكات الجيل الرابع مثل فقدان الحزم والتذبذب والتأخير الزمني، إن الطبيعة الفيزيائية للقناة الراديوية اللاسلكية تثير العديد من مشكلات جودة الخدمة المشار إليها سابقاً وتؤثر على رضى المستخدمين المهتمين عند تجربة مكالمات VoIP عبر الشبكة اللاسلكية,تم فحص العديد من برامج المحاكاة ومنصات الاختبار البرمجية التي يمكن استخدامها لتقييم أداء VoLTE. تم استخدام LTE-Sim وهو أفضل برنامج مفتوح المصدر لتقييم نظام LTE وسيناريوهات VoLTE. يسمح LTE-Sim بتقييم البيئات متعددة الخلايا ومتعددة المستخدمين للأجهزة المجدولة في الوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة. يشمل برنامج المحاكاة عدة جوانب من شبكات LTE مثل إدارة جودة الخدمة، حركية المستخدمين، وعمليات التسليم بين الخلايا (Handover)، إعادة استخدام التردد، وتحسين الموارد الراديوية والعديد من الجوانب الأخرى. تم تطبيق تقنية ضغط الترويسة المتينة ROHC على رزم VoLTE مع دراسة بارامترات اختبار أداء النظام المشار إليها سابقاً. بتطبيق سيناريو ازدحام في شبكة LTE يتكون من 900 مشترك يقع بالقرب من المحطات القاعدية و300 مشترك بعيد عنها. أثبتت نتائج المحاكاة التي تم أجراؤها أنه يمكن تشغيل ROHC بفعالية كبيرة بالنسبة للعقد القريبة مقابل ازدياد مهمل في فقد الرزم، أما بالنسبة للمشتركين البعيدين عن محطات القاعدة فقد بينت النتائج أنه لاينصح باستخدامها.

الكلمات المفتاحية:

نظام التطور طويل الأمد، نقل الصوت عبر شبكة التطور طويل الأمد، ،ضغط الترويسة المتين، التقلقل.

* **مدرس، قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.**

** **طالب دراسات عليا (ماجستير)، قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.** Engalialo92@gmail.com

مقدمة:

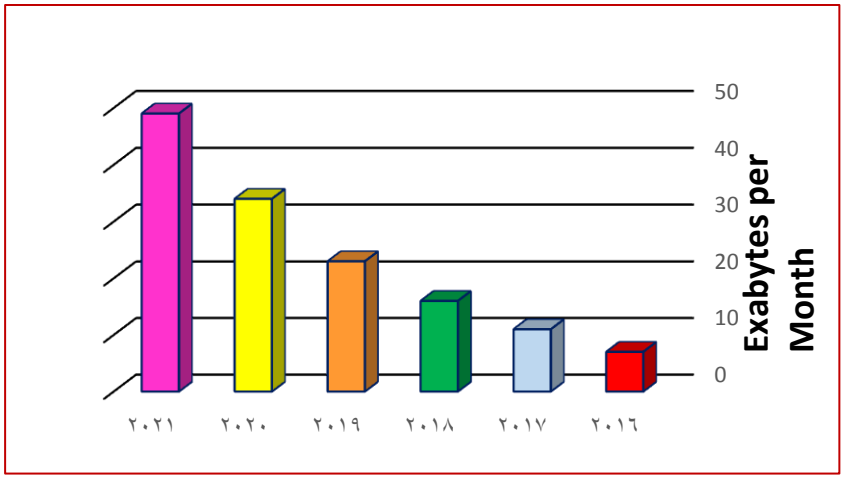
يعتبر الطيف الترددي المرخص من أهم موارد الشبكات الخلوية ذات الانتشار المتوسع باطراد. ويزداد الطلب على زيادة عرض الحزمة لزيادة معدلات نقل البيانات التي يطلبها المستخدمون الذين يتهافتون على الخدمات التي تقدمها الشبكات الخلوية المتقدمة، الشكل (1)، والذي يبين الحجم الهائل للبيانات –من مرتبة زيتا بايت– حيث أن (Zettabytes = 1021 bytes) التي يتم التعامل معها سنوياً من قبل مراكز البيانات، ويتوقع أن يتضاعف حجم هذه البيانات كل سنتين [1]. هذا التزايد في استهلاك البيانات واستنزاف المصادر الراديوية الترددية يأتي نتيجة لعدة عوامل من أهمها:

1- تطور الشبكات الخلوية منذ الجيل الثالث المسمى التطور طويل الأمد LTE وبعده الجيل الرابع المطور LTE-Advanced واعتمادها على خدمة تبديل الرزم و(IP) Internet protocol من جهة، وارتباطها الكامل مع شبكات نقل البيانات الأخرى سواء منها السلكية أو اللاسلكية.

2- التزايد الكمي والحجمي في البيانات التي يستهلكها المشتركين أي تزايد عدد المشتركين بشكل أسي والتزايد في كمية البيانات التي يستهلكها المشترك الواحد نتيجة تأقلمه السريع مع الخدمات الجديدة.

3- تزايد الخدمات التي تقدمها الشبكات الخلوية المتقدمة وتنوعها ودخول خدمات الوسائط المتعددة كالصوت والصورة والمؤتمرات ونقل الملفات FTP.

4- تطور تطبيقات انترنت الأشياء والآلات ووسائط النقل وربط مختلف أنواع الخدمات بالشبكة من المراقبة وتطبيقات الأمن والسرية.



الشكل(1): التنبؤ المستقبلي لحركة البيانات في الشبكات الخلوية

أهمية البحث وأهدافه:

محاكاة خدمة VoLTE في التصميم الذي يراعي معايير جودة الخدمة باستخدام آلية ضغط الترويسة المتين في نظام بعيد المدى المتطور من حيث الإنتاجية والتقليل من خسارة الرزم مما يخفف التأخير والتقلقل بالتالي تحسين جودة خدمة نقل الصوت عبر شبكة التطور طويل الأمد واختبار تقنية ضغط الترويسة ROHC وقياس مدى تأثيرها على الخصائص الوظيفية لخدمة VoLTE .

طرائق البحث ومواده:

تضمن البحث محاكاة مكالمة VoLTE مع تطبيق لآلية ضغط الترويسة ROHC والتي تم إنشاؤها في بيئة تطويرية مناسبة وهي برنامج (LTE-Sim) ثم تبدأ مرحلة قياس الخصائص الوظيفية لVoLTE ثم المقارنة لمعرفة مدى تأثير هذه الآلية في تحقيق جودة خدمة مناسبة وتمت هذه المحاكاة اعتماداً على دراسات مرجعية عديدة حيث قام الباحثون في [2] بإجراء دراسة لجدولة رزم VoIP بهدف تحقيق جودة الخدمة VOIP في شبكات LTE وبينت نتائج الدراسة أن جدولة الرزم تؤدي لتقليل الازدحام وبالتالي تخفيض ضياع الرزم مما يحسن جودة الخدمة وحققت الخوارزمية المقدمة أداء جيداً لتجربة المستخدم بالنسبة لخدمات الصوت والبيانات على حد سواء وحسنت من الإنتاجية إلا أنها زادت من تأثير التقلقل Jitter.

تم دراسة التأخير الزمني والتقلقل Jitter كبارامترات مؤثرة على جودة الخدمة في VoLTE في [3] وقام الباحثون فيها بإجراء احصائيات للحالة التي يكون فيها التقلقل مستقراً ودراسة العوامل المؤثرة على عدم استقراره في عملية تدفق البيانات Streaming. تمكنت الدراسة [3] من تقليل زمن التأخير لمكالمات VOIP الناتج عن ترتيب الرزم في أرتال باعتماد مبدأ First Come First Serve وإعطاء رزم البيانات الصوتية زمن محدد للانتظار لتتم خدمتها ضمنه بالتالي تقليل التقلقل.

تمت محاكاة معايير جودة الخدمة لـ VoLTE في [4] مع التركيز على تأثير عدد المستخدمين المتنقلين، وبينت أن تحديد أولويات الخدمات والمستخدمين يقلل من أثر انخفاض الإنتاجية ولكن كانت ذلك على حساب الإنتاجية وخاصة عند زيادة عدد المستخدمين في حالة التجمعات الكبيرة.

قام عدد من الباحثين عام 2018 بدراسة أداء VoLTE في مدينة سيؤول التي تعد من أكثر المدن اكتظاظاً بالمستخدمين وفي ساعات الظهيرة حيث تكون ذروة الاستخدام للبيانات عبر شبكة LTE في أقصاها بهدف اختبار العوائق التي تحول دون تحقيق خدمة VoLTE عالية الدقة [5]. تم ذلك باتباع خوارزمية الجدولة المبينة على الأولوية Priority Set التي تمكنت من رفع مستوى الإنتاجية في الشبكة بينما عانت من نقص في مستوى جودة الخدمة المطلوب وتقلقل أكبر في حالة الدقة العالية.

لم تعالج أي من الدراسات السابقة تطبيق تقنيات ضغط المعطيات وترويسة رزم VOIP في شبكات LTE، وهذا ما تم التركيز على دراسته. بالتالي يتم تقييم معايير جودة الخدمة بتطبيق تقنية ضغط الترويسة المتينة ROHC بهدف تحقيق جودة أفضل لخدمة VoLTE وتحسين بارامترات الأداء بعد الاطلاع و التحليل لنتائج الدراسة [6], وذلك باستخدام محاكي شبكات الجيل الرابع LTE-SIM لتقييم نظام LTE وسيناريوهات VoLTE التي يتم انشاؤها ومحاكاتها وفق معايير ملائمة.

1- نقل الصوت عبر شبكة LTE (VoLTE Voice over LTE):

نظراً للتقدم التكنولوجي الحديث في شبكات تبديل الرزم أصبحت التقنيات المستندة على نقل الصوت عبر بروتوكول الانترنت مفضلة على شبكات الهاتف العامة PSTN وموازية للتواصل عبر الشبكات الخلوية فيما يتعلق بالتواصل الصوتي وحتى المرئي ومفضلة عليها من حيث التكلفة.

نقل الصوت عبر شبكات LTE (Voice over LTE) والذي يرمز إليه اختصاراً في اللغة الإنكليزية VoLTE يوفر نظاماً مدمجاً لتقديم خدمات نقل الصوت عبر بروتوكول الانترنت (VoIP voice over IP).

إن الموارد الراديوية لشبكة LTE محدودة بالتالي إن هدف مشغلي الشبكة من وراء تطبيق خدمة VoLTE هو تزويد المستخدمين بخدمة VOIP عالية المصداقية، ذات جودة عالية، وتحسين استغلال الموارد الراديوية. يتم تقديم التقنيات الثلاثة الرئيسية لتصميم طبقة بروتوكول الشبكة المختلفة في الجانب اللاسلكي ومبدأها: فرق الأداء بعد فتح التقنيات الرئيسية في أداء الضغط متعدد الخدمات. يتم الحصول على تغيير في كسب الموارد من مقارنة بيانات الاختبار ثم يتم عرض التأثيرات على الشبكة.

إن متطلبات تجربة المستخدم من حيث عرض الحزمة الكبير وحركة البيانات المرتفعة جعلت مشكلة جدولة خدمات الصوت بكفاءة وموثوقية مع محدودية المصادر الراديوية ذات أهمية بالغة ومحور الاهتمام للمشغلين والباحثين.

من أجل موثوقية عالية واستغلال أمثل لخدمة VoLTE، تم تطوير مخططات تحسين المميزات المختلفة على كل المستويات الراديوية في LTE كما هو موضح في الجدول (1).

الجدول 1: الطبقات الوظيفية لـ VoLTE

مستوى طبقة الشبكة	الوظيفة والخصائص
التحكم بالموارد الراديوية RRC	التحكم بالقبول، استراتيجية التبديل بين الأنظمة غير المتزامنة، تبديل النظام
بروتوكول تقارب بيانات الرزمة PDCP	آلية ضغط الترويسة المتين ROHC
طبقة MAC	جدولة ديناميكية، جدولة ثابتة شبه الدائمة SPS، إجراء استلام غير مستمر

2-المبادئ الأساسية لـ VoLTE:

يشير VoLTE إلى تغليف الخدمات الصوتية والتشوير في رزم بيانات ليتم إرسالها في شبكة LTE. تتميز الخدمة بنقل رزم بيانات صغيرة ترسل بشكل دوري. وهناك حالتين مميزتين:

1- **مدة المكالمة:** يكون المستخدم النهائي في حالة اتصال. خلال فترة التحدث، يتم إرسال البيانات كل 20ms ويعتمد حجم الرزمة الصوتية على المعدل الحالي للتشفير المستخدم.

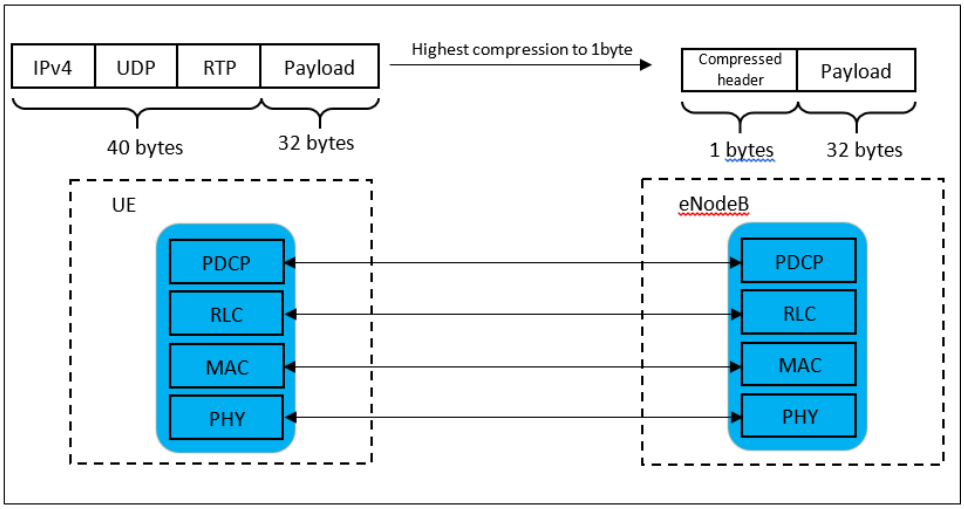
2- **فترة الصمت:** يكون المستخدم النهائي في حالة الرد. خلال فترة الصمت، يتم إرسال إطار محدد إدراج الصمت (Silence Insertion Descriptor SID) والذي يتم توليده بتمييز ضوضاء الخلفية ويرسل كل 160ms لتحسين تجربة المستخدم [7].

3- آلية ضغط الترويسة المتين (ROHC) Robust Header Compression:

هو عبارة عن آلية ضغط لرؤوس رزم البيانات مصممة للقنوات اللاسلكية قادرة على التكيف مع معدل أخطاء عالي وزمن استجابة طويل في الوصلات اللاسلكية. يمكن أن يؤدي استخدام ROHC إلى تقليل حمل الترويسة الزائد Head Overload وتقليل وقت الاستجابة التفاعلية؛ وبالتالي تحسين أداء الشبكة [6]. يتميز ROHC عن آليات ضغط الترويسة الأخرى مثل آلية ضغط ترويسة IP (IP Header Compression IPHC) بما يلي:

1- **الموثوقية العالية:** إن آلية التغذية الخلفية التي توفرها ROHC تملك موثوقية عند معدلات أخطاء مرتفعة ومعدلات التأخير الزمني العالية للوصلات اللاسلكية.

2- **كفاءة ضغط عالية:** تستطيع خوارزميات ضغط الترويسة البسيطة أن تضغط الرأس إلى 2 بايت على أفضل حال أما ROHC فتستطيع ضغط الرأس إلى بايت واحد، ولذلك تملك ROHC كفاءة ضغط أعلى كما هو موضح في الشكل (2).



الشكل (2) : مخطط ضغط الترويسة لـ ROHC

3- **تتم عملية الضغط وفق ثلاث حالات:** الحالات الأولية والتحديث، حالات الضغط من الدرجة الأولى وحالات الضغط من الدرجة الثانية. يختلف مقدار المعلومات التي نقلها بواسطة الرسائل المضغوطة في الحالات المختلفة. على سبيل المثال، في الحالات الأولية والتحديث يتم إرسال رسالة غير مضغوطة، يتم إرسال رسالة مضغوطة في كل من حالات الضغط من الدرجة الأولى والثانية.

4- **يحدد ROHC ثلاث أنماط:** النمط أحادي الاتجاه، النمط الأمثل والنمط الموثوق. يتم تفعيل أنماط مختلفة من الموثوقية والتغذية الخلفية باختلاف الترويسات المنقولة،تظهر رزم بأحجام كبيرة خلال عملية الجدولة شبه الدائمة بالإضافة لبيانات طلبات إعادة الإرسال الهجين HARQ في وقت الإرسال الأولي شبه الثابت يتم تحرير موارد شبه ثابتة خلال فترة الصمت لـ VoLTE، وتتم جدولة رزم البيانات ديناميكياً خلالها.

3-4-تحليل الخصائص الوظيفية لـ VoLTE:

يبين الجدول (2) البارامترات التي تم اعتمادها لاختبار أداء VoLTE باستخدام محاكي الشبكة LTE-SIM. تقوم فكرة البرنامج على خلق بيئة رسومية لمحاكاة الشبكات. وهناك عدة أسباب هامة لاستخدام هذا المحاكي من جوانب عدة، أولها أن هذا البرنامج مجاني وثانيها أنه يوفر بيئة رسومية ديناميكية يمكن التعديل عليها، وثالثها أنه ينصب على منصة Linux المجانية بكافة إصداراتها وأخيراً يمكنه التعامل مع شبكة ذات عقد كثيرة.

الجدول 2: بارامترات اختبار أداء VoLTE

البارامتر	القيمة	البارامتر	القيمة
عرض الحزمة الترددية	20MHz	معامل فترة الصمت	0.5
مؤشر تحكم الإطار CFI	متكيف	SINR للعقد القريبة	24 Db
ترميز الصوت	WBAMR 23.85kbit/s	استطاعة استقبال الإشارة المرجعية للعقد القريبة RSRP	-80 dBm
عنونة مستخدمي خدمة VoLTE	IPv6	SINR للعقد البعيدة	0 Db
عنونة مستخدمي خدمة نقل الملفات FTP	IPv4	استطاعة استقبال الإشارة المرجعية للعقد البعيدة RSRP	-105 dBm

تعتبر جودة الصوت المؤشر الرئيسي لتقييم الخدمة الصوتية وتجربة المستخدم. خلال مكالمة VoLTE، يؤثر كل من التأخير الزمني Delay والتقلقل Jitter وفقدان الرزم Packet loss على جودة الصوت. لقد تم استخدام المعايير التالية لتقييم جودة المحادثة الصوتية:

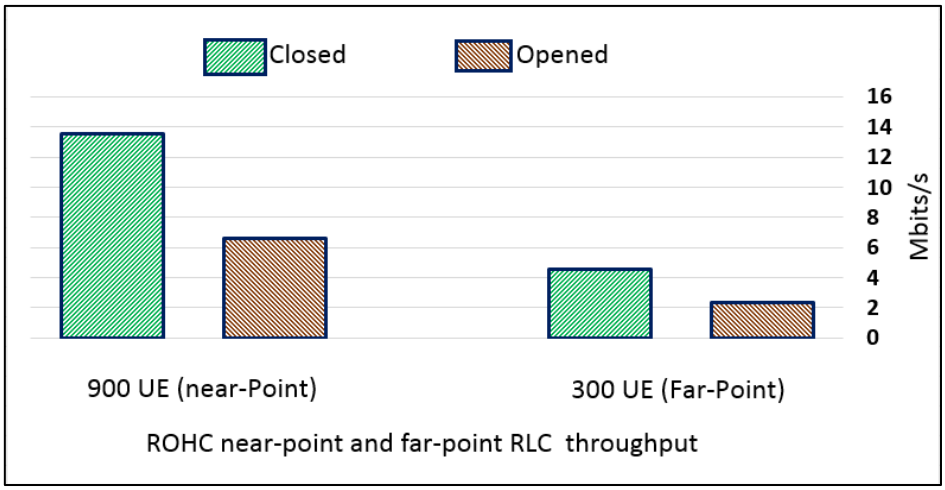
1- **التأخير الزمني (Delay)**: هو متوسط الزمن اللازم لانتقال رزم البيانات من المصدر إلى الهدف عبر شبكة الاتصال، متضمناً التأخير الناتج عن انتشار الإشارة عبر القنوات الراديوية والسلكية ضمن نواة الشبكة والتأخير الناتج عن عمليات التخزين المؤقت والمعالجة في العقد الوسيطة، وكذلك التأخير الناتج عن عمليات إعادة الإرسال في طبقة الـ MAC وغيرها، ويتطلب هذا البارامتر درجة رضى مستخدم 98%.

2- **الإنتاجية (Throughput)**: هي معدل الرزم التي تستطيع الشبكة نقلها بنجاح خلال واحدة الزمن، وتقدر الإنتاجية بـ (bits/sec). العوامل التي تؤثر على إنتاجية الشبكة هي: عرض الحزمة المتاح والازدحام وعمليات إعادة الإرسال والتأخير وعدد مستخدمي الشبكة الكلي.

3- **معدل ضياع الرزم الخاطئة أو المفقودة (Packet Error Loss Rate)**: هي عدد الرزم التي أرسلت من المصدر ولم تصل إلى وجهتها أي تم إسقاطها أو فقدها وتقدر بـ (bits/sec).

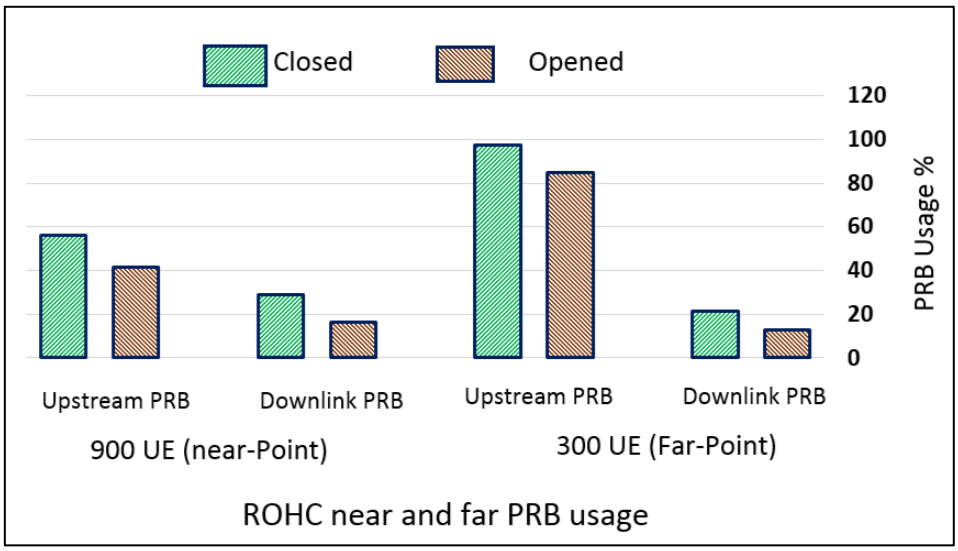
3-5-تحليل خصائص ROHC:

تم بتطبيق ازدحام في شبكة LTE على المحطات القاعدية، وذلك بتمرير بيانات صوتية لـ 900 مشترك في نقاط قريبة و300 مشترك في نقاط بعيدة عن محطات القاعدة والتي تفتح وتغلق عندما يتم تشغيل عمل ROHC وإيقافه. وكما هو موضح في الشكل (3)، فبعد تشغيل ضغط الترويسة باستخدام ROHC انخفض معدّل الإنتاجية الوسطي لمستخدمي VoLTE الـ 900 في نقاط الاتصال القريب بمقدار 52%، ولمستخدمي VoLTE الـ 300 في نقاط الاتصال البعيد بمقدار 49%.



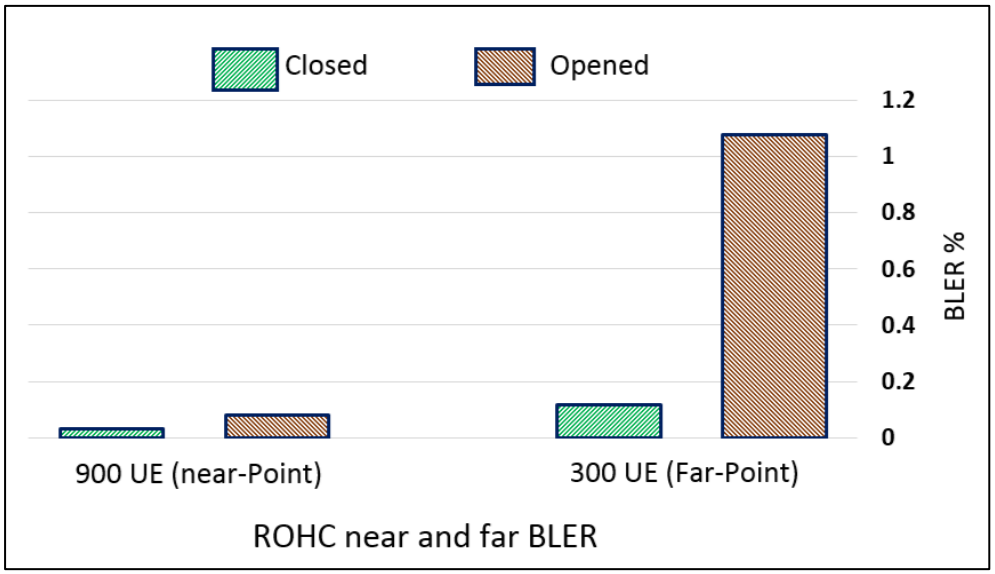
الشكل(3): إنتاجية ROHC عند تشغيله وإيقافه

من منظور استهلاك كتل المصادر الفيزيائية (Physical Resource Block PRB) نجد أن الاستهلاك ينخفض بنسب متفاوتة تبلغ قيمتها العظمى 43% على الوصلة الهابطة، و26% على الوصلة الصاعدة، انظر الشكل (4).



الشكل (4): النسب المئوية لاستهلاك كتل المصادر الفيزيائية PRB عند تشغيل وإطفاء ROHC

من منظور معدل خسارة الرزم، وبعد تشغيل عمل ROHC، نلاحظ أن معدل خطأ الكتل (Block error Rate BLER) يرتفع بنسبة كبيرة تبلغ 96% لمستخدمي VoLTE الـ 300 في نقاط الاتصال البعيد، بينما يكون هذا الارتفاع صغيراً ولا يتجاوز 5% بالنسبة لمستخدمي VoLTE الـ 900 في نقاط الاتصال القريب. ونشير إلى أن هذا الارتفاع يعتبر مقبولاً مقارنة بالتحسينات التي يقدمها ROHC بالنسبة لمعايير تقييم الأداء الأخرى وهو ما يرجع بالنهاية إلى مشغلي الخدمة لتحديد الأولويات واختيار تشغيل عمل ROHC أو إيقافه (انظر الشكل 5).



الشكل (5): مقارنة خسارة الرزم بين تشغيل وإطفاء ROHC

النتائج والمناقشة:

يحتاج نشر VoLTE إلى التغلب على التغطية المستمرة والواسعة النطاق لشبكة LTE، وتطوير عناصر الشبكة الأساسية، والحاجة إلى دعم وظائف VoLTE. ومع ذلك فإن VoLTE قد تم نشرها وتسويقها من قبل العديد من المشغلين في جميع أنحاء العالم.

تمت الدراسة التحليلية لتقييم بارامترات اختبار VoLTE بتطبيق تقنية ضغط الترويسة المتين ROHC والتي تبين من خلال نتائج المحاكاة أنها تقدم تحسينات ممتازة من ناحية الإنتاجية وتخفيض استهلاك مصادر الطيف الراديوي. إلا أن هذه التحسينات جاءت مقابل زيادة في خسارة رزم البيانات والتي بدا أنها طفيفة ولا تؤثر على أداء الشبكة بالنسبة للعقد القريبة. لكن هذه الخسارة كانت واضحة وكبيرة بالنسبة للعقد البعيدة ولذلك لابد لمشغلي الشبكة بتفعيل عمل ROHC بالنسبة للعقد القريبة وإيقافه بالنسبة للعقد البعيدة لتخفيف عبء إعادة إرسال الرزم الضائعة والتي لن تنفع بالنسبة لخدمة VoLTE بالإضافة إلى أن ذلك سيستهلك الموارد الراديوية ولن يكون لـ ROHC أي فائدة في هذه الحالة.

الاستنتاجات والتوصيات:

تم استخدام سيناريوهات VoLTE تتعلق بمدى قرب أو بعد المستخدم عن العقدة بالإضافة إلى ازدياد عدد المستخدمين في الشبكة ولا بد من التحقق من نوع البيانات المستخدمة من قبل المستخدم سواء كانت اتصال صوتي أم مكالمة فيديو عبر أثير شبكات الجيل الرابع بالتالي لابد من زيادة عدد الإجراءات خلال عملية القياس. لذلك يفضل تضمين نوع الاتصال المستخدم (مكالمة فردية أم جماعية) كما يمكن تقليل فقدان الحزم وذلك بتحديد أفضل بروتوكول نقل في كل حالة، كما تم إغفال السرعات العالية لانتقال المستخدمين فالدراسة لا تأخذ بالاعتبار سرعة المستخدمين لذلك يوصى بدراسة أثر سرعة الانتقال للمستخدمين اثناء إجراء مكالمات VoLTE .

References:

[1] "Mobile data will skyrocket 700% by 2021" 2017 [online] Available: http://www.businessinsider.com/mobile-data-willskyrocket-700-by-2021-2017-2

[2] Emad M. Saleh, Fady El-Nahal "A Study of Packet Scheduling Schemes for VoIP and Best Effort Traffic in LTE Networks", Faculty of Engineering, University of GHAZA, Palestine, 2014.

[3] LI Zeng, Liren Zang, Dong Xu "Characteristics of network delay and delay jitter and its effect on voice over IP(VoIP)", Network Technology research Center, Nanyang Technological University, Singapore, May-2014.

[4] João Filipe Monteiro, Luís Manuel" Implementation of VoLTE considering different QoS" Master Degree of Science, Electrical and Computer Engineering Department, Barcelona University, Spain, November-2017.

[5] Ralf Keller, Michael Anehill, Bo Burman" VoLTE Communication service over LTE" Ericsson Group, US, APRIL-2018.

[6] Joseph, Jitto, Ron Ruhl, and Hamman Samuel. "Reducing Traffic Congestion for Machine to Machine Type Communication Over 4G-LTE Network by Decreasing Total Bytes Transmitted." 2018 17th IEEE International Conference On Trust, Security And Privacy In Computing And Communications/12th IEEE International Conference On Big Data Science And Engineering (TrustCom/BigDataSE). IEEE, 2018.

[7] Zhang, X, Tan, Y, Liang, C. A covert channel over VoLTE via adjusting silence periods. IEEE Access; 6: 9292–9302, 2018.

[8] Sukumar Nandi, Tejmani Sinam, Irengbam Tilokchan Singh"A technique for classification of VoIP flows in UDP media streams using VoIP signaling traffic", Department of Computer Sciences, Manipur University ,Imphal, India,march-2015

[9] Wasi Ahmad, Laxmi "Addressing the Challenges of VoLTE Implementation" Telecom Engineering Centre, Khurshid Lal Bhavan, Janpath, New Delhi, JAN-2016

[10] Chor, Alexandrea, Zhang, Chi "Performance Analysis on VoIP over LTE network(VoLTE))",Network Technology research Center , Communication Networks Department, April-2015

[11] GSMA Association searchers "VoLTE Service Description and Implementation", GSM Association, North America, Version 1.1 - 26 March 2014

[12] Harri, H. , Annti, T. "LTE for UMTS Evolution to LTE-Advanced", Second Edition, John Wiley & Sons, Ltd, 2011, P.559.

[13]Abd alhamid, M.T , HOSSAM, S. H " LTE, LTE-Advanced And WIMAX". This [3] edition first published, John Wiley & Sons, Ltd, , Canada, 2012, P.305