# تحليل اداء Voice over LTE في شبكات النقل المزدحمة

**الدكتور: عبد الكريم السالم**

**كلية الهندسة – الجامعة الوطنية الخاصة**

تتزايد الحاجة لسعة عالية لانظمة الاتصالات و بكلفة منخفضة من خلال الاستخدام الامثل للمصادرالراديوية ،و تخطيط و تصميم شبكات النقل بصورة ملائمة لسعة الشبكات الراديوية ، و التزايد الاسي لحركة البيانات data traffic، حيث يتم في الشبكات المعتمدة على بروتوكول الانترنيت IP based network نقل حركة الصوت باستخدام الرزم على وصلات البيانات نفسها، و يعتبر LTE اهم تقنيات الوصول عريضة الحزمة المبنية على بروتوكول الانترنيت تم تصميمها من اجل سرعات نقل عالية ، و تأخير منخفض، و ضمان جودة خدمة مناسبة مكنت من انتشاره بصورة واسعة ، و لا بد لنقل حركة الصوت التقليدية ،المنقول في الاساس على شبكات تبديل الدارات circuit switched (cs) من حلول جديدة تضمن تقديم خدمات الزمن الحقيقي real time services (الصوت و الفيديو و الالعاب التفاعلية ...)

يعتمد LTE في دعمه لخدمات نقل الصوت على شبكات(IP multimedia subsystem) IMS ،و هو ما يعبر عنه بvoice over LTE,,حيث يحول VoLTE الصوت الى رزم بينات ترسل من خلال وصلات البيانت نفسها، ولكن نظرا لارسال هذه الرزم عبر شبكات غير متجانسة heterogeneous من خلال اعتماد ، IMS فان ارسال خدمات الصوت و الفيديو على شبكات LTE لا يزال يشكل تحديا رئيسيا لمزودي الخدمة عموما ، يهدف البحث لتحليل اداء شبكات VoLTE في الشبكات المزدحمة من خلال حساب كل من التأخير ، و الانتاجية ، و معدل ضياع الرزم و جودة نقل الصوت اضافة لأثر الترميز codec على هذا الاداء باستخدام برمجية OPNET

**الكلمات المفتاحية:**

Codec, LTE –VoIP , QoS ,end –to-end delay ,FTP , OPNET

**Analysis of voice over LTE in congested transport network performance**

## Abstract

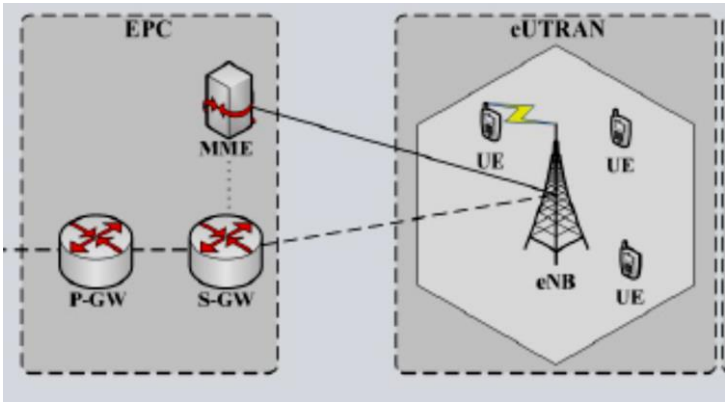
There is a growing need to improve the network capacity at reduced cost by optimum usage of resources in the radio networks so the transport network needs to be planned according to the capacity of mobile network
Data traffic in telecom system is growing rapidly ,however in case of IP network the voice traffic is carried using IP packet over data connection

LTE is an all IP network designed for high data bit rate and low delay and it is one of the latest mobile broadband emerging technologiesthat is gaining widespread due its high data rate and enhanced QoS LTE networks.
to carry traditional circuit switched voice calls, adifferent solution was required. This solution to carry voice over IP in LTE networks is.. The implementation of VoLTE solution to deliver voice over internet protocol in LTE network is totally dependent on IMS (IP Multimedia Subsystem).
commonly known as “VoLTE”. Basically VoLTE systems convert voice into data stream, which, is then transmitted using the data connection .but ,Since voice in LTE is transmitted in a heterogonous network which is based on IMS the deployment of voice services is very complex especially for guarantying QoS requirements
Transmitting voice and video services in a good quality over wireless network is still a big challenge to service providers and big effort have to be done
With volte it is expected to provide better quality to improve user experience
To provide VoIP service over LTE networks with appropriate QoS it is necessary to analyses the performance of VoIP service over congested LTE network ,VoLTE has the capability to ensure end-to-end QoS.
An OPNET based simulation model is used

**Key words**: LTE ,VoIP , QoS ,end –to- -end delay ,FTP , OPNET.

## 1- المقدمة:

تجاوزت حركة البيانات على الشبكات الخليوية حركة الصوت بشكل كبير مما شكل دافعا قويا لتطوير الشبكات، و الانظمة الخليوية و يعتبر ال LTE من اهم التقنيات عريضة الحزمة المبنية على بروتوكول الانترنيت IP based network و الذي يدعم نقل الصوت و الفيديو بطريقة فعالة. ولكن ذلك لا يكون بنفس البساطة التي كانت في نظامي ال GSM/UMTS لأن ال LTE مصمم ليستخدم اتصالاتتبديل الرزم فقط. تستخدم خدمة الصوت في ال LTE تقنية Voice Over IP(VoiIP) بالتوازي مع شبكة IP Multimedia Subsystem (IMS) و بروتوكول Session Initiation Protocol (SIP).و تعمل كل هذه التقنيات معا لتشكل تقنية نقل الصوت عبر شبكة الLTE Voice over LTE (VoLTE). Long Term Evolution (LTE) هي تقنية الجيل الرابع تم اعتمادها كمعيار في الاصدار 8 من قبل منظمة 3GPP. تستطيع هذه التقنية نقل البيانات بسرعات عالية تصل حتى 100Mbps في ال down link و حتى 50Mbps على ال Uplink. كما أنها تدعم التنقل( الحركية )Mobility و بسرعات عالية.تتميز بنية ال LTE بمعمارية تعتمد على التبديل با لرزم بشكل كامل completely packet switched core على عكس سابقتها ال GSM/UMTS الشكل (1)




**الشكل (1) بنية شبكات LTE**

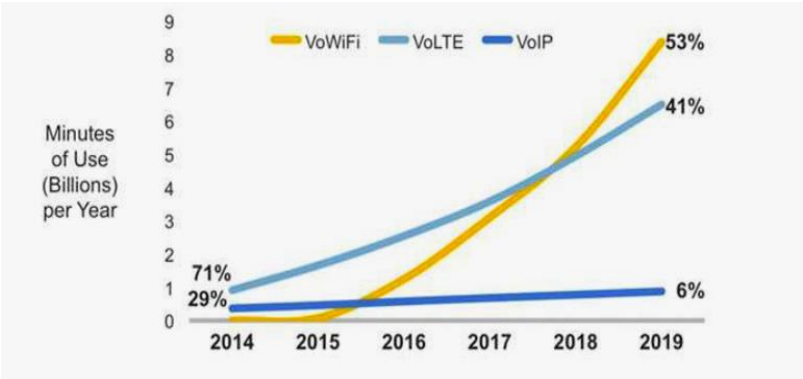
و يمكن تحويل الصوت من ال LTE الى GSM او UMTS أي تعود المكالمات الصوتية للتبديل بالدارات CSFB circuit switching fall back، و لا بد لدعم هذه الطريقة من توفير المناولة بالاتجاهين بين شبكة ال LTE و شبكات GSM/UMTS .و عموما يتم تطوير تقنيات 3GPP المتتالية ; بحيث تدعم الاتصال الشبكي مع الأنظمة السابقة .

**2- هدف البحث و اهميته**

يهدف البحث الى دراسة و تحليل اداء تقنية نقل الصوت على شبكات الجيل الرابع LTE و هو ما يدعى ( V0LTE ) حيث تم دراسة مقاييس الاداء الرئيسية : الانتاجية و التأخير و جودة نقل الصوت في الشبكات المزدحمة باستخدام نسخة جديدة من البرنامج OPNET

تنبع اهمية البحث من تحليل اداء هذه التطبيقات التي تعاظم دورها ،حبث زادت حركة الاتصالات المنقولة خلالها و التي لا تزال تعاني من ضعف جودة نقل الصوت و خاصة في الشبكات المزدحمة حبث تم دراسات سيناريوهات مختلفة تمثل تزايد حمولة الشبكة (الازدحام ) وتقييم اثر الازدحام على جودة نقل الصوت عموما .

سمحت تقنية نقل الصوت على بروتوكول الانترنيت ال VoIP للمستخدمين باجراء مكالمات هاتفية على شبكات بيانات تستخدمIP عن طريق الحواسيب بدلا عن استخدام الPSTN التقليدي مما يوفر لمستخدم الحاسب كلفة الاتصال البعيدة. كما و توفر تقنية الVoIP حلا بديلا يدمج كلا من البيانات و الصوت مما يعطي العديد من الميزات كتقليل التكاليف مع جودة مناسبة و إضافة ميزات تسمح بها طبيعة شبكة البيانات. يتزايد استخدام ال VoIP منذ مطلع الألفية و توفرها العديد من التطبيقات المشهورة(...Skype, Viber , Whatsapp) و يتجه المزيد من المستخدمين و الشركات لاستخدامها يوميا. كل هذه التطبيقات توفر جودة عالية للصوت، مكالمات رخيصة بل حتى مجانية من أي مكان لأي مكان اخر في العالم بشرط توافر اتصال انترنت.تبين الدراسات زيادة مضطردة في نسبة VoLTE بالنسبة لمكالمات ال VoIP عند اكبر مزودين خدمات الاتصالات الشكل (2).



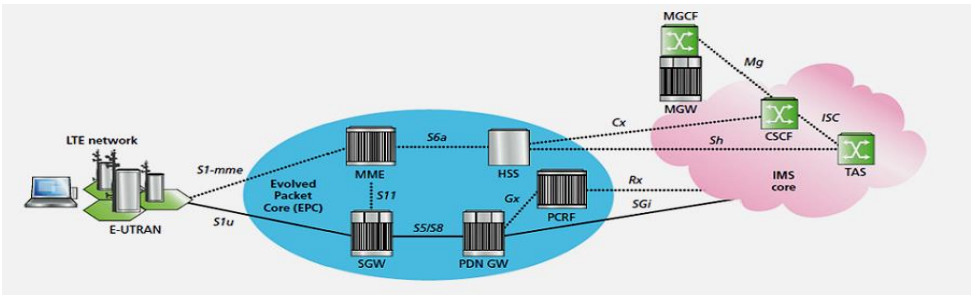

الشكل (2) مقارنة حركة الصوت VoWi-Fiو VoLTEو VoIP [2]

تعرف تقنية ال VoIP باستخدامها لحل معتمد على معمارية IP، لكن لا بد من اليات تضمن الحدود الدنيا من تأخير الرزم end to end delay لمنع تدهور جودة الصوت مما سيؤدي لتجربة سيئة للمستخدم bad Quality of Experience (QoE).

إن تقليل أثر التجربة السيئة للمستخدم هو أحد أهم الدوافع لاستخدام حل ال VoLTE.

يوفر حل ال VoLTE عدة محاسن مقارنة مع الطرق التقليدية منها امكانية اجراء المكالمة، و استخدام شبكة البيانات بنفس الوقت، و بدون نقص في خدمة البيانات مقارنة باستخدام حل العودة الى التبديل بالدارات CSFB الذي لا يمكن عند استخدامه الاستمرار في الاتصال بشبكة بيانات ال LTE ،بالاضافة لوقت اعداد مكالمة أقل لعدم الحاجة لاجراء المناولة بين أنظمة مختلفة الحلول لدعم Voice Over LTE غياب التبديل بالدارات في شبكة ال LTE دفع الصناعة بقيادة منظمات وضع المعايير مثل 3GPP لاقتراح حلول مختلفة لدعم نقل الصوت في شبكة ال LTE. أهم الحلول هي العودة للتبديل بالدارات CS fallback بالامكان العودة الى استخدام التبديل بالدارات و هذا يوفر طريقة ملائمة لاعادة استخدام الشبكة الموجودة مسبقا سواء كانت GSM/UMTS لدعم نقل الصوت في شبكة ال LTE. هذا الحل المقترح من 3GPP يعطي المشغلين مرونة لاستخدام شبكة ال LTE كشبكة بيانات فقط ، و استخدام البنية التحتية الحالية العاملة بالتبديل بالدارات لدعم نقل الصوت,[2] و الحل الثاني - Voice Over

LTE via IP Multimedia Subsystem (VoLTE) في هذا الحل يتم توفير مهام الاتصال الصوتي من قبل ال IP Multimedia Subsystem (IMS) و هي معمارية نواة شبكية مبنية فوق شبكة ال LTE كما هو موضح في الشكل (3) حيث




الشكل (3) معمارية شبكة LTE [1]

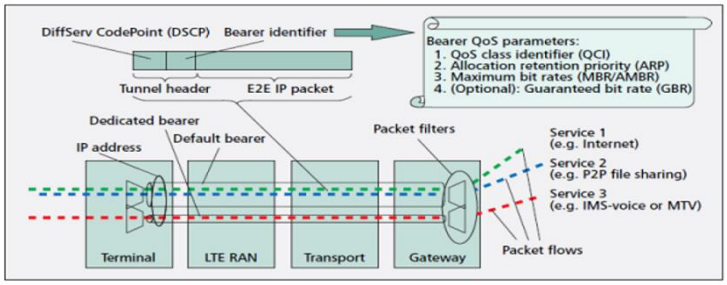
تستخدم شبكة ال IMS بشكل أساسي لتزويد كل الخدمات الأساسية للصوت المزودة من قبل شبكة ال CS الموجودة مسبقا. بالإضافة لهذا فإنها تزود مجموعة خدمات الوسائط المتعددة المحسنة مثل المؤتمرات الفديوية Video Conferencing،الالعاب التفاعلية (اللعب بالزمن الحقيقي Real time gaming...

الميزة الأساسية لاستخدام الحل المبني على ال IMS هو أنه يستخدم معمارية نظام ال LTE بشكل كامل بدلا عن الاعتماد على أنظمة سابقة تعمل بال CS لدعم خدمات الصوت، مقدرة شبكة ال IMS على التكامل مع شبكات الأنظمة الأقدم 2G/3G، بحيث تدعم استمرار المكالمة عندما يبتعد المستخدم عن نطاق تغطية ال LTE. أي بامكان المستخدم أن يحصل على نفس الخدمات عندما يتجول في أماكن تغطية الشبكة القديمة.

هذا الحل يعرف على أنه الحل طويل الأمد و القادر على توفير الخدمات المحسنة لشبكة ال LTE ، كما أنه يدعم التكامل مع شبكات ال 2G/3G الموجودة أصلا.[3-2]

بنية QoS في LTE : في ال LTE تؤمن ال QoS باستخدام الحوامل bearers التي تعرف و بشكل مختلف نوع تدفق البيانات بين المستخدم و بوابة PDN-GW و تكون مسؤولة أيضا عن الأولوية التي تعطى لتدفق بيانات معين على شبكة ال LTE.

تتشكل الحوامل من قبل الشبكة و باتجاه ال UE بعد عملية التحقق الصحيحة و التسجيل للمستخدم في شبكة ال LTE. الشكل(4) يبين معمارية حامل ال LTE(LTE Bearer)




الشكل (4) معمارية حوامل جودة الخدمة في LTE [ 4]

كل حامل يكون موافقا لنموذج تدفق بيانات Traffic Flow Template (TFT) ، و الذي يستخدم لتفرقة أنواع الرزم التي تمر خلاله. يقوم ال TFT بهذا التصنيف بناء على المحددات التالية:

Port Number و ToS/ Values و عنوان source/Destination address و Protocol (TCP/UDP). [2]

**3 - محاكاة الشبكة:**

تم دراسة اداء الشبكة و محاكاتها باستخدام برنامج OPNET Riverbed 17.5 .و تم تقييم الاداء من خلال البارامترات الأساسية التالية:

التواتر **Jitter**

يعبر عن تباين ازمنة وصول الرزم وينتج غالبا عن ازدحام الشبكة ، و لتخفيض التواتر تم استخدام jitter buffer (play out buffers). يستخدم لجمع حزم الصوت وتخزينها و من ثم ارسالها للمعالجة بفواصل زمنية ثابتة. حسب معايير الاتحاد الدولي للاتصالات ITU فإن قيمته يجب أن لا تتجاوز 60ms و في الحالة المثالية تكون تحت 20ms.[4]

**تأخير وصول الرزم E2E Delay**: هو الفرق بين وقت ارسال الرزمة و وقت وصولها. ( و تحدد معايير ITU تأخير التطبيقات الهاتفية بأقل من 150ms لتأمين الرضا التام من العملاء)

و بنتج التأخير بشكل رئيسي عن ثلاثة عوامل: التأخير الناتج عن خوارزمية ترميز الصوت و التاخير الناتج بسبب خوارزميات الانتظار في أجهزة الاتصالات queuing algorithms و في شبكة LTE و يعود التأخير الناتج عن المسافة بين وحدة المستخدم و المحطة.حسب معايير ITU يجب أن لا يتجاوز RTT قيمة 50 ms.

$$D = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} = \sum_{i=1}^{N}(d_p + d_b + d_d) \quad (1)$$

معدل الرزم الضائعة : PLR

$$PLR = \frac{\sum_{i=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} P_{lost}}{\sum_{i=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} P_{total}} \quad (2)$$

**MOS** (Mean Opinion Score): معيار عددي يشير لجودة الصوت المستقبل بعد ترميزه و ضغطه بخوارزمية معينة ، حيث يتم تقييم جودة المكالمة من قبل مستخدمين بعلامات من 1 الى 5 و قياس المتوسط. و تمثل 5 جودة ممتازة و 1 سيئة للغاية. تؤثر العوامل السابقة (تواتر – تأخير – ضياع حزم) مجتمعة على هذا العامل. [5]

الانتاجية **Throughput** : هي معدل نقل البيانات التي يتم توصيلها بنجاح عبر القناة يتم حسابها للوصلات الصاعدة و الهابطة

$$th = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{N} p_t \quad (3)$$

و اخير تم دراسة اثر نوع الخدمة و الترامیز المستخدم

تم بداية اعداد برنامج المحاكاة OPNET من خلال اعداد نموذج التطبيقات أولا (Application Config) للتطبيقات و البروتوكولات الشبكية المراد تشغيلها. ثم وضع هذه

النماذج في نموذج المستخدم (Profile Config) و من ثم تم اختيار التطبيقات المراد تشغيلها على الطرفيات تم اخيرا اعداد الطرفيات لتشغيل نموذج مسستخدم Profile Config

**4- نتائج المحاكاة والمناقشة:**

يبين الجدول (2) أهم المعاملات المستخدمة في عملية المحاكاة

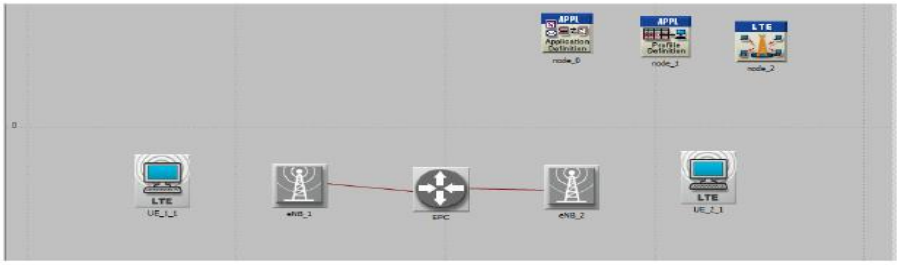
الجدول (2) : معاملات المحاكاة

| Parameter | Value |
|---|---|
| **Cell topology** | Single circular microcell |
| **Base station maximum transmit power** | 1 watt |
| **Base station antenna mode** | Omnidirectional |
| **Base station height** | 10 m |
| **User height** | 1.5 m |
| **Cell inner Radius** | 50 m |
| **Cell outer Radius** | 1000 m |
| **Bandwidth** | 20 MHz |
| **Number of users** | 100 |
| **Number of RBs** | 100 |
| **Antenna configuration** | SISO |
| **Frequency** | 2.5 GHz |
| **Modulation** | QPSK, 16-QAM, 64-QAM |
| **Schedulers** | BCQI, PF, PS and RR |

حيث تم افتراض وجود خلية واحدة بمحطة قاعدة ذات هوائي يتوضع في مركز الخلية .وتم استخدام عرض الحزمة الأكبر في نظام في 4G ويساوي ,20MHz والذي يكافئ 100 RBs كما وتم اعتبار أن المستخدمين موزعين بشكل موحد ضمن الخلية

طوبولوجيا الشبكة: تتألف الشبكة من مجموعة محطات و مجموعة مشتركين اضافة لقلب الشبكة و بعض المخدمات الخاصة بالخدمات .

Application Config , Profile Config , LTE Parameters Config



الشكل (5) نموزج اولي الشبكة المدروسة

اعداد التطبيق Application Config تم عمل جلسة ال VoLTE باعتبار ال UE1_1 هو المتصل و UE2_1المتصل به. لهذا السبب ترسل حركة الصوت من UE1_1 الى UE2_1.

هنا نعدل فقط نوع الترميز (G711, G729, G723.1 5.3K, GSM FR)بالإضافة لنوع الخدمة ToS (Best Effort BE, Expedited Forward EF)

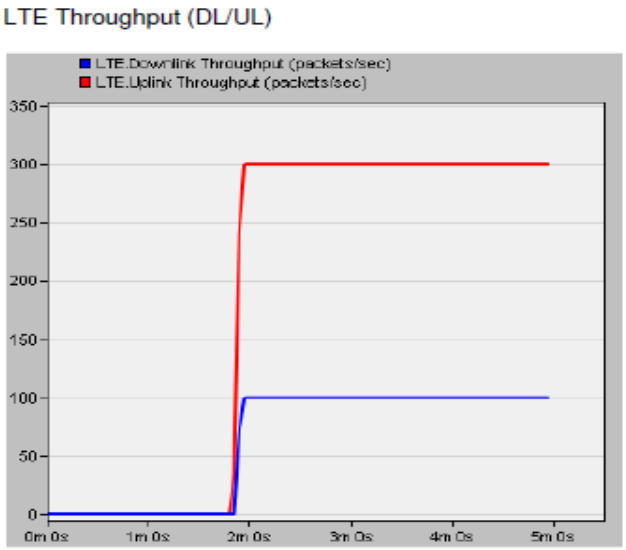
تحمل حركة الصوت على حامل من نوع (QCI=1) LTE Gold Bearer.

السيناريوهات:

تم انشاء مجموعة سيناريوهات شبكية لدراسة أداء نوع الترميز و نوع الخدمة ,

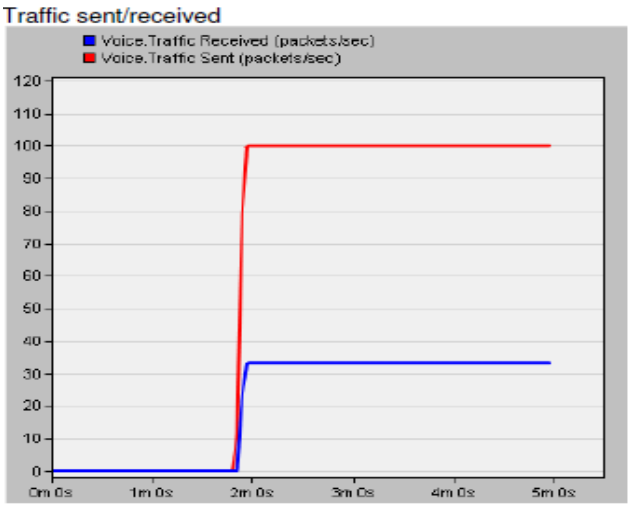
تم بداية دراسة الاداء بوجود حركة الصوت فقط (بدون نقل ملفات FTP بين المشتركين )،

يبين الشكل( 6 ) مقدار الانتاجية للوصلتين الصاعدة و الهابطة



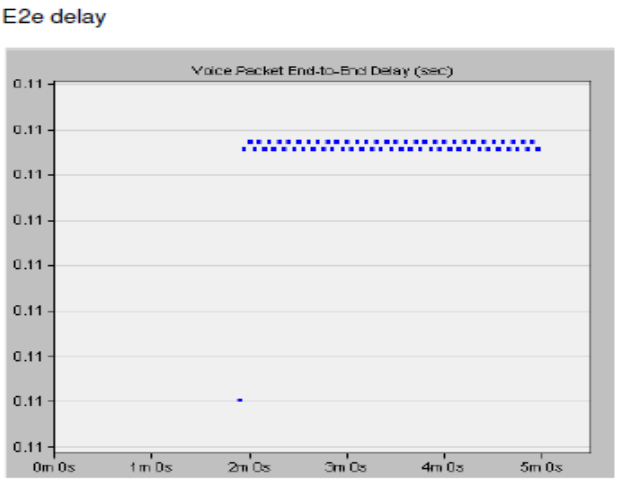
الشكل (6) الانتاجية

يبين الشكل (7) مقدار الحركة المرسلة و المستقبلة

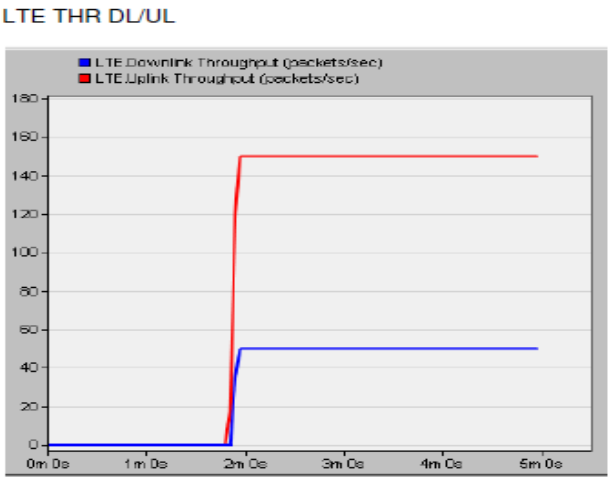



الشكل (7) مقدار الحركة المرسلة و المستقبلة

يبين الشكل(8) مقدار التأخير end –to– end delay



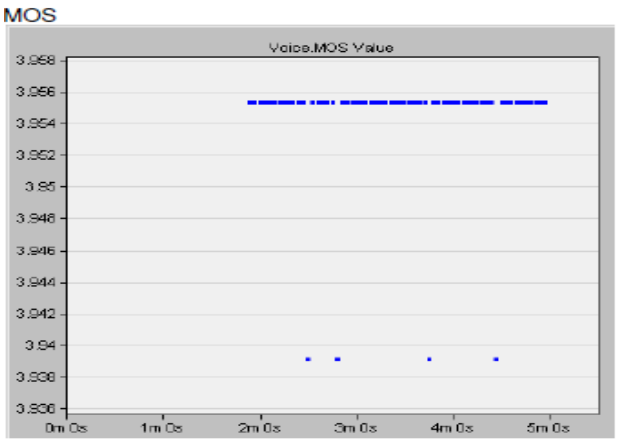

الشكل (8 ) مقدار التأخير E2E




الشكل (9) انتاجية الوصلات

تبين الاشكال السابقة عموما اداء جيدا في حالة نقل الصوت فقط و بدون ازدحام حيث :

التأخير بحدوده الدنيا و الحركة المرسلة نفسها المستقبلة تقريبا بدون ضياع في الرزم

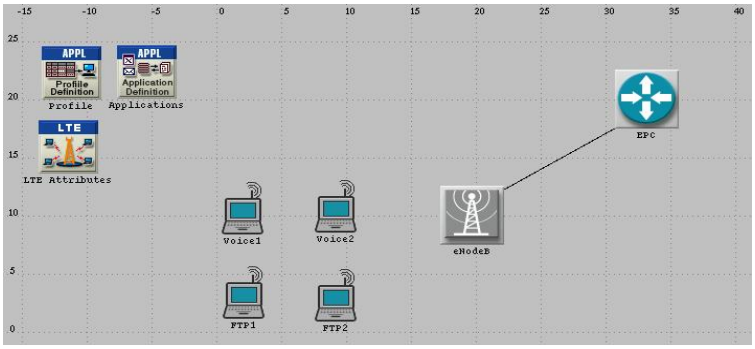



الشكل (10)علامة جودة الصوت MOS

**دراسة أثر الازدحام على جودة الصوت**

تم دراسة اثر الازدحام على جودة نقل الصوت بادخال مجموعة من العقد التي تستخدم بروتوكول نقل الملفات FTP عبر الشبكة لتوليد الازدحام في الشبكة. تم استخدام ثلاثة أحجام للملفات المستخدمة في FTP لمراقبة حالات ازدحام مختلفة، ما يمكن اعتباره ثلاثة سيناريوهات

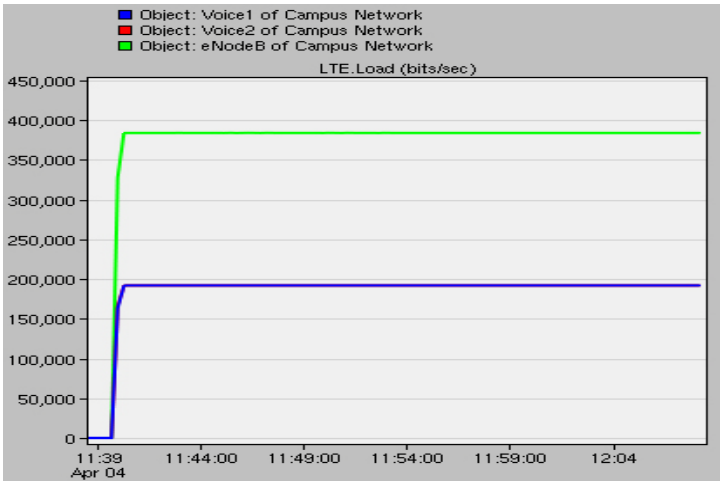
فرعية وتم مقارنة النتائج في الحالتين : نقل صوت فقط و نقل صوت مع نقل ملفات بحجوم مختلفة ، حيث تم بداية استخدام الاعدادات الافتراضية لخدمة الصوت و ال FTP و اعداد وحدات المستخدم لتشغيل إماخدمة الصوت (VoLTE) أو نقل الملفات.




الشكل (11) نموزج الشبكة

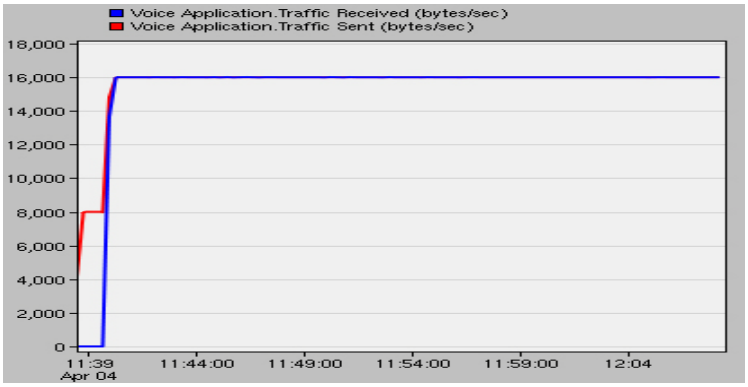
- **النتائج :**

يبين الشكل (12) حمل الشبكة في سيناريو الصوت فقط. عند أخذ النتائج لكل عقدة على حدة يلاحظ حمل ال eNB يساوي مجموع حملي عقدتي الصوت، كما هو متوقع.



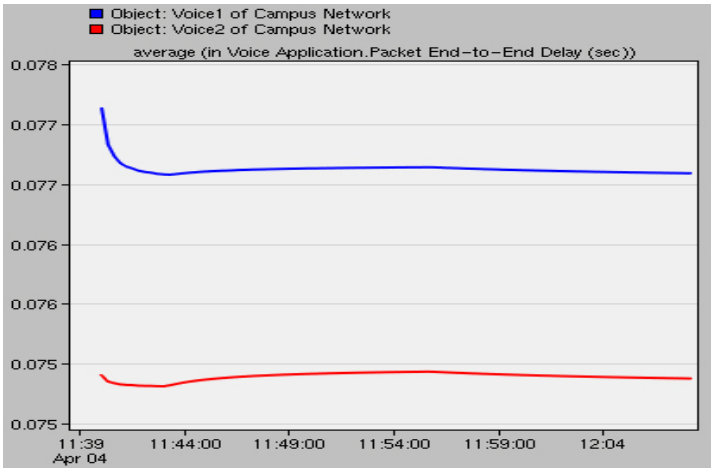

الشكل (12) حمل الشبكة

يبين الشكل (13) حركة الصوت المرسلة و المستقبلة بين عقدتي الصوت. حيث يلاحظ تساوي البيانات المرسلة و المستقبلة و بالتالي عدم وجود ضياع في الرزم.



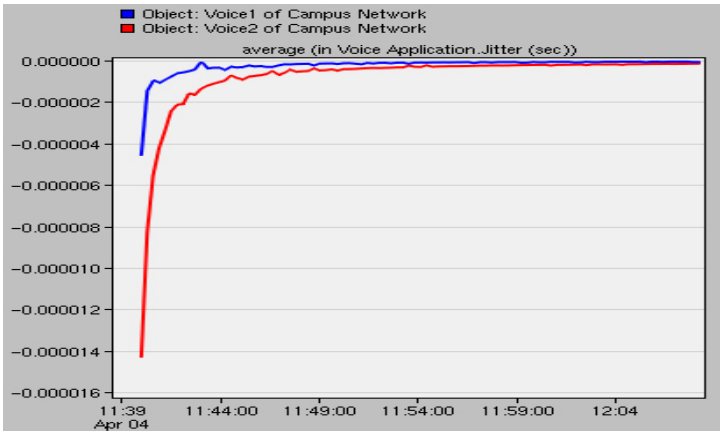

الشكل (13) حركة الصوت المرسلة و المستقبلة

يبين الشكل (14) التأخير E2E لكل من عقدتي الصوت. على الرغم من اختلاف التأخيرات (ناتج عن عدم تساوي البعد بين كل من الجهازين و المحطة)، فإن القيم متقاربة جدا مع 77ms للعقدة الأولى و 75ms للثانية.



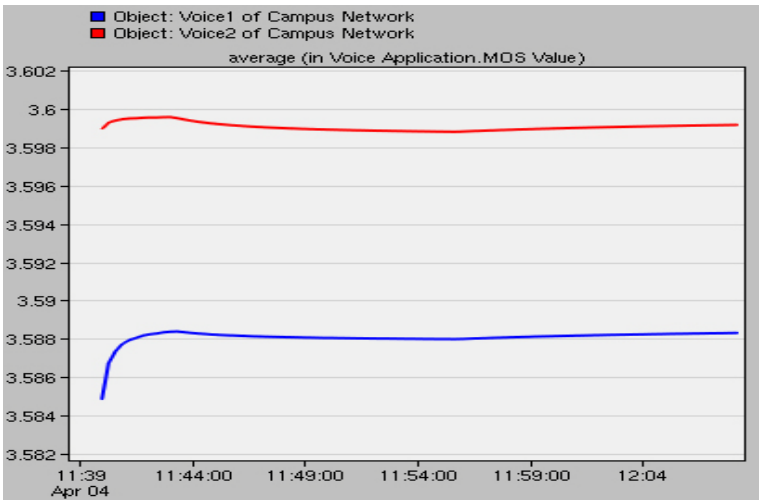

الشكل ( 14) مقدار التأخير

يبين الشكل (15) التواتر Jitter و عندما تصل المكالمة لحالة مستقرة ينعدم التواتر تقريبا .




الشكل(15) مقدار تباين التأخير jitter

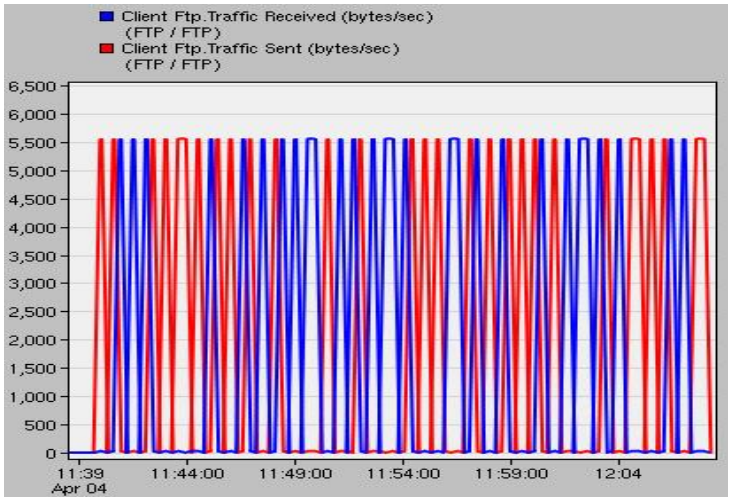
يبين الشكل (16) علامة جودة الصوت MOS لكل من عقدتي الصوت.




الشكل (16) علامة جودة الصوت المنقول

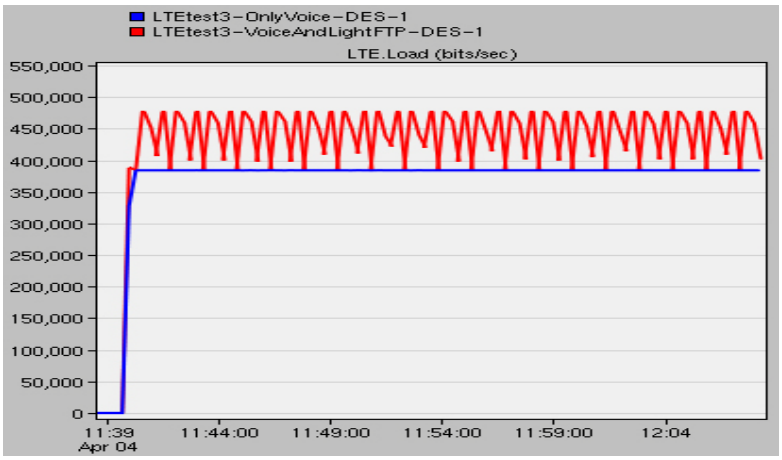
- سيناريو صوت مع FTP خفيف( ازدحام قليل )

يظهرالشكل (17) حركة ال FTP على شبكة ال LTE. كل قمة في الشكل تشير إلى ارسال ملف واحد حجمه 100KB.



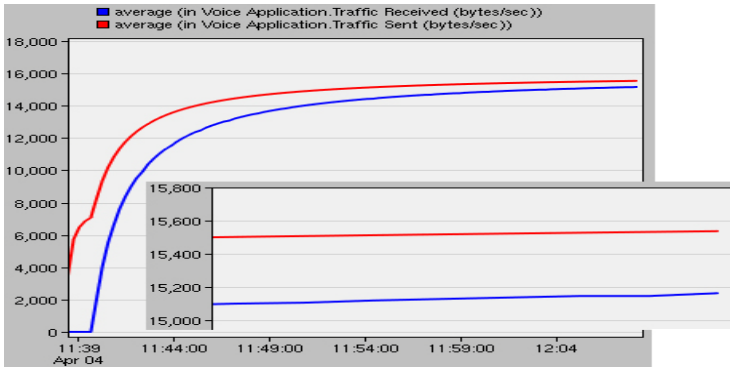

الشكل(17) الحركة المنقولة

يوضح الشكل (18) حمل المحطة eNB في هذا السيناريو باللون الأحمر مقارنة مع السيناريو السابق الذي استخدم الصوت فقط باللون الأزرق. اللون الأزرق هو الحركة الناتجة عن الصوت و التغيرات أعلاه سببها استخدام ال FTP.



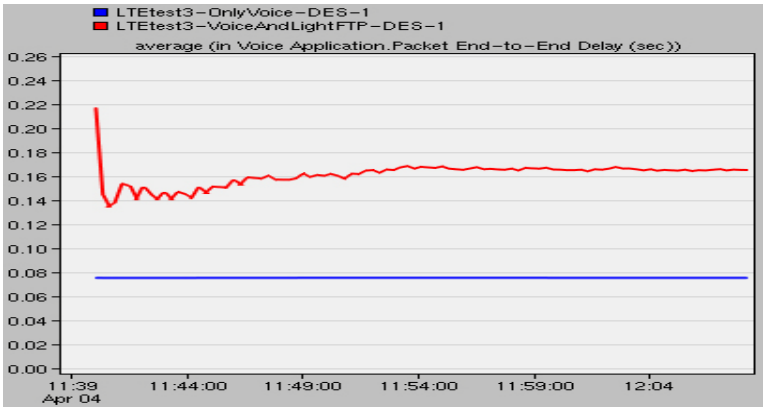

الشكل (18) حمل الشبكة

يبين الشكل (19) حركة الصوت المرسلة و المستقبلة في طرفي المكالمة. البيانات المرسلة و المستقبلة لم تعد متساوية. سرعة الارسال 15,546byte/sec و الاستقبال 15,162byte/sec بمعدل ضياع للرزم 2.4% , ,و الذي يعطي جودة متوسطة. سيزداد معدل الضياع مع زيادة الازدحام في الشبكة.



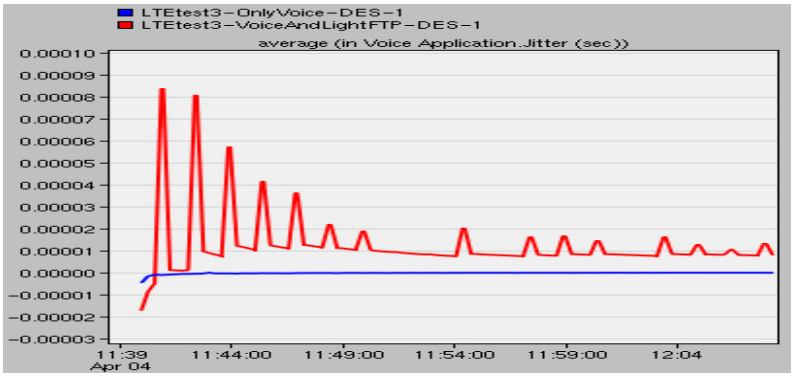

الشكل (19) حركة الصوت

يقارن الشكل (20) تأخير الرزم بين السيناريو الأول (بالأزرق) و السيناريو الحالي الذي يستخدم ال FTP بالإضافة الى الصوت. من الواضح أن حركة ال FTP سببت زيادة في تأخير E2E من 77ms إلى حوالي 165 ms. يتوقع أن يستمر التأخير بالازدياد مع ازدياد الازدحام. و هذا التأخير يبقى دون معايير ITU التي تتطلب 150ms.



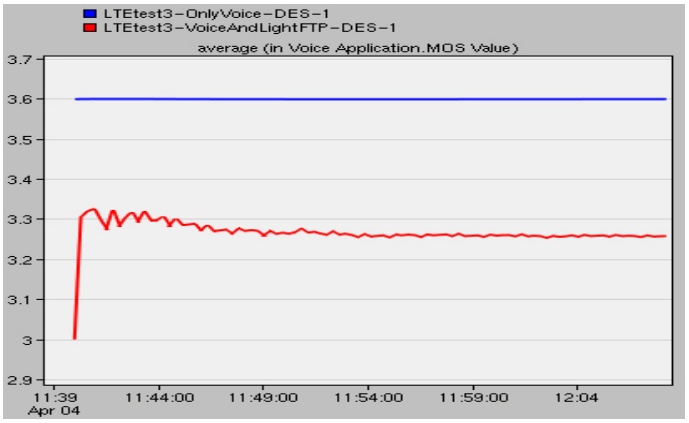

الشكل (20) مقدار التأخير

يقارن الشكل (21) التواتر Jitter بين الحالتين (السيناريو الأول بالأزرق). يمكن ملاحظة تزايد في معدل التواتر تتوافق مع حركة ال FTP السابقة . التواتر يثبت عند 0.01ms و يمكن اهماله .




الشكل (21) مقدار التواتر

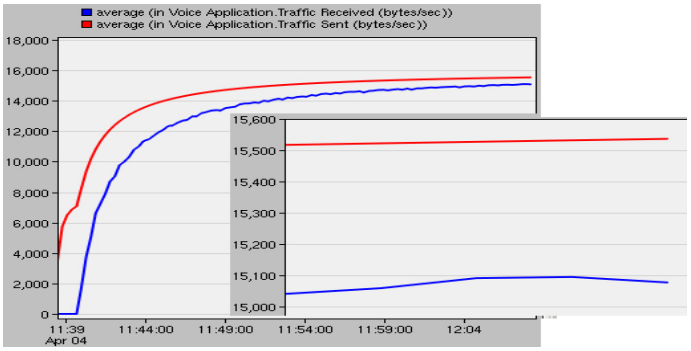
يبين الشكل(22) مقارنة جودة المكالمة بين السيناريو الأول (الخط الأزرق) و السيناريو الحالي. نلاحظ انخفاض قيمة ال MOS من 3.6 إلى 3.25 عند ثباتها. هذه النتيجة موافقة للنتائج السابقة, حيث حصل ضياع في الرزم وتزايد في التأخير.




الشكل (22 ) مقدار جودة نقل الصوت

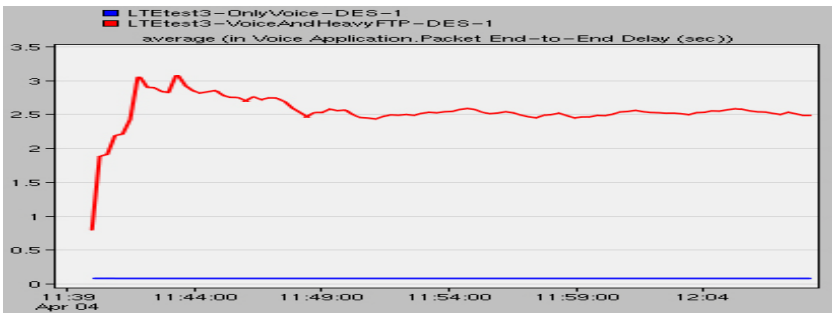
حالة صوت مع FTP ثقيل الشكل (23) يبين حركة الصوت المرسلة و المستقبلة بين طرفي المكالمة. من هذا الشكل يبدو أن الفرق بين الارسال و الاستقبال أكبر من الحالة السابقة. الحركة

المرسلة نفسها 15,536 bytes/sec ، و لكن الحركة المستقبلة انخفضت إلى 15,07 bytes/sec. هذا زاد من ضياع الرزم إلى 2.95% (مقارنة مع 2.4%) بسبب زيادة الازدحام في الشبكة و هذا الرقم لا يزال يعطي جودة صوت متوسطة.



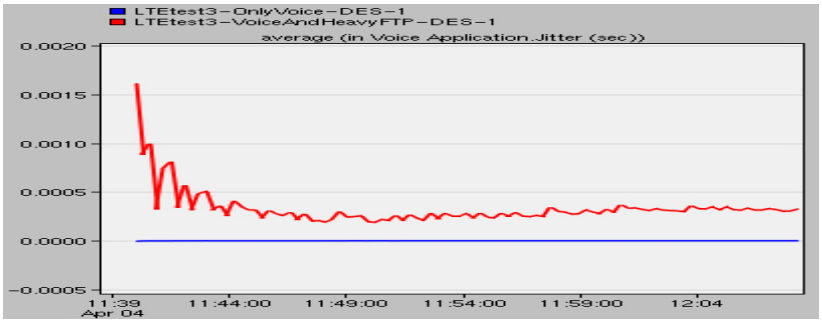

الشكل (23) حركة الصوت المنقول

يبينالشكل (24) تأخير ال E2E لكل من السيناريو الأول (صوت فقط، لون أزرق) و السيناريو الحالي (صوت + FTP كبير). يمكن ملاحظة أن حركة ال FTP الثقيلة سببت زيادة كبيرة في التأخير وصلت إلى 2.5sec الزيادة في التأخير كانت متوقعة حيث يلاحظ أنه مع تزايد حمل الFTP خمسة أضعاف (الملف أصبح 500KB) مما زاد التأخير من 165msإلى 2500ms بزيادة 15 ضعف. هذا يؤشر إلى امكانية وجود علاقة أسية بين الازدحام والتأخير.




الشكل (24) مقدار التأخير

يقارن الشكل (25) التواتر Jitter للسيناريو الأول و الحالي ،حيث ازدادت قيمة ال Jitter إلى 0.3ms و نتيجة لزيادة الازدحام إلا أنها لا زالت ضمن المعايير و يمكن اهمالها.

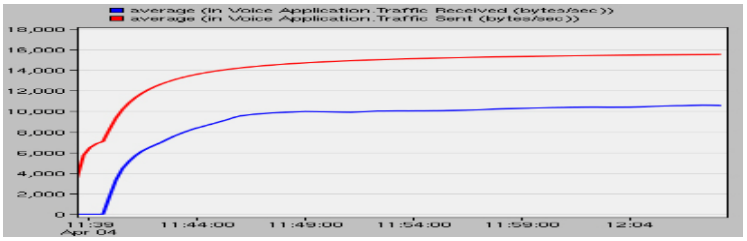



الشكل( 25) مقدار تباين التأخير

يقارن الشكل (26) جودة الصوت MOS من السيناريو الأول. يمكن ملاحظة الانخفاض الكبير في جودة الصوت إلى دون ال 1.5 (كانت 3.25 في حالة الازدحام الخفيف) لكن هذا الانخفاض متوقع بسبب التأخير الكبير الحاصل في وصول الرزم E2E delay.

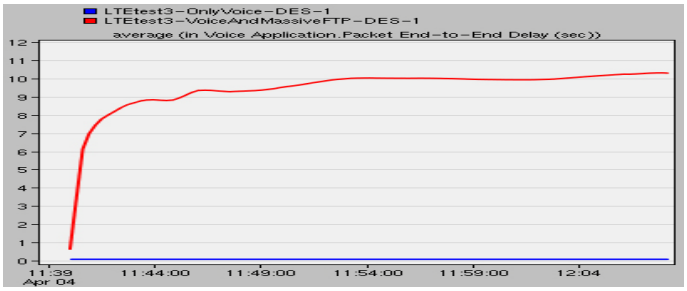
- **حالة صوت مع حركة FTP كبيرة جدا**

يبين الشكل (27) حركة الصوت المرسلة و المستقبلة بين عقدتي الصوت. يلاحظ الفرق الكبير بين القيمتين. يتم ارسال 15,536 bytes/sec بينما يستقبل 10,579 bytes/sec فقط. هذا يوافق ضياع قيمته 31.9% ، و هو اسوء بكثير من معيار الجودة المتوسطة مثلا ، و الذي يسمح حتى 5% ضياع. نتوقع أن تصبح المكالمة غير مفهومة في هذه الحالة و هذا ما ستبينه قيمة ال MOS لاحقا.



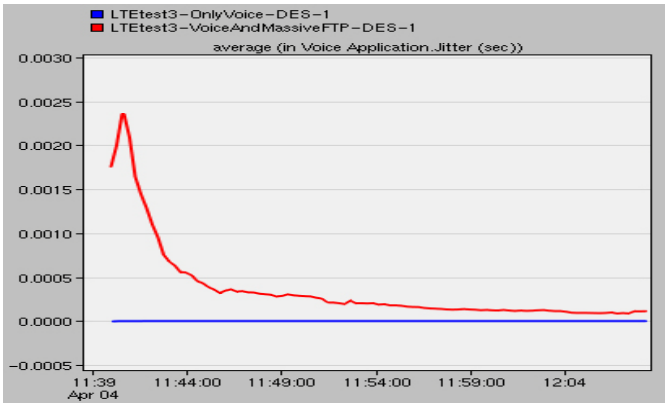

الشكل (27) مقدار حركة الصوت

الشكل(28) يقارن التأخير للسيناريو الأول مع الحالي. يلاحظ أن التأخير يصل حتى 10 ثواني للحرزمة ما يؤكد العلاقة الأسية بين الازدحام و قيم تأخير ال E2E delay.



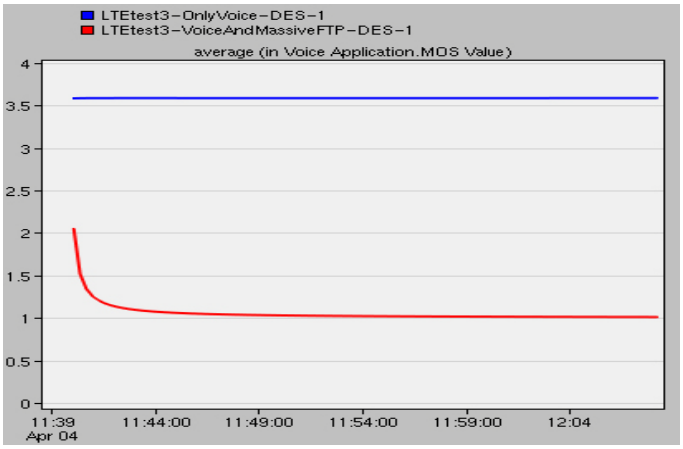

الشكل (28) مقدار التأخير للحالتين

يقارن الشكل (29) قيم التواتر Jitter للسيناريو الأول و الحالي. يلاحظ أن القيمة بقيت نفسها تقريبا.




الشكل (29) مقدار التواتر jitter

الشكل (30) يقارن جودة الصوت بين السيناريو الأول و الحالي. أن المكالمة غير صالحة أبدا مع أسوأ قيمة MOS ممكنة مساوية للواحد.




الشكل(30) مقياس جودة الصوت

تم اخيرا وضع مجموعة من السيناريوهات الشبكية وتم تنفيذها لكل نوع من انواع الترميز codec و نوع الخدمة و تم حساب التأخير و علامة الخدمة الموافقة و تم تلخيص النتائج في الجدول (2)

الجدول (2) اهم نتائج اثر الترميز و نوع الخدمة

| Codec | Throughput DL [packet/sec] | Throughput UL [packet/sec] | E2E delay [sec] | Jitter | MOS | ToS |
|---|---|---|---|---|---|---|
| G711 | 100 | 300 | 0.12 | 0 | 4.35 | BE |
| G723 5.3K | 33 | 100 | 0.17 | ~0 | 3.955 | BE |
| G729 | 100 | 300 | 0.17 | 0 | 4.00 | BE |
| GSM FR | 50 | 150 | 0.13 | ~0 | 4.34 | BE |
| G711 | 100 | 300 | 0.12 | 0 | 4.31 | EF |
| G723 5.3K | 33 | 100 | 0.17 | ~0 | 3.96 | EF |
| G729 | 100 | 300 | 0.11 | 0 | 4.00 | EF |
| GSM FR | 50 | 150 | 0.13 | ~0 | 4.34 | EF |

تبين النتائج تقليل التأخير end to end delay باستخدام تراميز قوية مثل G711 و GSM FR بإمكانه أن يحسن من جودة الصوت MOS.

## 5- النتائج :

تم في هذا البحث تقييم اداء نقل الصوت ، VoLTE، و اثر الازدحام على هذا الاداء من خلال حساب محددات الاداء : التأخير و انتاجية الوصلات و تباين التأخير ودرجة رضا المستخدم المتمثلة بمعامل جودة الخدمة MOS اضافة لدراسة أثر طرائق الترميز، و نوع الخدمة على الاداء عموما و بينت النتائج :

1. يبقى التأخير اقل من القيم المسموحة 30 ms في الشبكات غير المزدحمة الشكل (14) و تزداد و بشكل أسي مع ازدياد الازدحام، عند زيادة الحركة غير المتعلقة بالصوت خمسة أضعاف وجدنا أن التأخير ازداد 15 ضعف، و زيادة عشر أضعاف في الازدحام رفعت قيمة التأخير الى 60 ضعف الشكل (24)
2. تتجاوز علامة جودة الصوت القيمة 4.3 من اجل الشبكات غير المزدحمة و يقترب jitter من الصفر الشكل (4)
3. تنخفض درجة جودة الصوت الى قيم 3.8 من اجل احمال متوسطة ( مع زيادة مقبولة لعدد المشتركين )
4. يتدهور الاداء مع زيادة عدد المشتركين ( الشبكات المزدحمة )ويزيد التأخير عن القيم المحددة من ITU
5. يتحسن اداء النظام باستخدام الترامیز التكيفية القوية مثل G711 و GSM FR بإمكانه أن يحسن من أداء ال end to end delay بالإضافة لجودة الصوت MOS.
6. استخدام نوع الخدمة ToS مثل EF بإمكانه تحسين ال end–to–end delay بالمقارنة مع سيناريوهات ال BE لكن جودة الصوت MSO في تبقى نفسها تقريبا الحالتين الجدول (2)

**جدول المختصرات**

| المصطلح | المعنى |
|---|---|
| **VoLTE** | Voice over LTE |
| **IMS** | IP multimedia subsystem |
| **EPC** | Evolved packet core |
| **CSFB** | Circuit switched fall |

| | |
|---|---|
| | back |
| **eNB** | Evolved node B |
| **E2E** | End to end delay |
| **RTT** | Round tripe time |
| **RB** | Resource block |
| **PLR** | Packet loss rate |
| **M0S** | Mean opinion score |
| **DL/UL** | Down link / up link |
| **BE** | Best effort |
| **PS** | Packet switched |
| **EPS** | Evolved packet system |

## المراجع :

[1] 3GPP Technical specification circuit switched (CS) fallback. in evolved packet system (EPS),stage 2(release 10//http:3gpp.org,2012.

[2] P. Phusamchot and P. Wuttidittachotti, "Comparison of Skype VoIP Quality over 3G with Mobility: A Case Study of Fair Usage Policy Effects." in *Proceedings of IEEE xyz*, 2015.

[3]T.G. mobile suppliers association (MSA) evolution to LTE report : 4G market and technology update technical report 4 2015 (on line ) available http : www.gsacom.com/gsm-3g /info-papers .php4

[4] Duy-Huy Nguyen, Hang Nguyen. A dynamic rate adaptation algorithm for voice trafficover LTE network. In Proc. of 8th IFIP/IEEE Wireless Days (WD), 23{25 March 2016,Toulouse, France. DOI: 10.1109/WD.2016.7461490

[5]Duy-Huy Nguyen, Hang Nguyen and _Eric Renault. A New Channel- and QoS-AwareScheduling Scheme for Real-Time Services in LTE Network. nternationalJournal of Applied Information Systems (IJAIS). Volume 11, number 4, 2016. ISSN: 2249- 0868. Publisher: Foundation of Computer Science (FCS), NY, USA. DOI: 10.5120/ijais2016451601

[6] Duy-Huy Nguyen, Hang Nguyen and _Eric Renault. Performance evaluation of E-MQSscheduler with Mobility in LTE heterogeneous network. In 2017 IEEEInternationalConference on Communications (ICC 2017), 21-25 May 2017, Paris,

[7] a dynamic rate adaptation algorithm using wb e-model for voice traffic over LTE network," in 2016 Wireless Days (WD). IEEE, March 2016, pp. 1-6.

[8] P. Phusamchot and P. Wuttidittachotti, "Comparison of Skype VoIPQuality over 3G with Mobility: A Case Study of Fair Usage PolicyEffects." in *Proceedings of IEEE xyz*, 2015.

[9]A. Elarby voice over LTE performance evaluation Springer -2016

[10] J. E. Vargas Bantista, S.Sawhney and others , performance of fallback LTE to UMTSQUalcom corporation engineering,IEEE communication magazine vol. 51, issu9, pp136-143-2013