

تحقيق نموذج تقييم جودة الكلام E-model في المحاكى أوبنت واستخدامه في تقييم خوارزميات ترميز الصوت في نموذج شبكة كلية الهندسة المعلوماتية بجامعة البعث

د.م يمان غازي¹

الملخص

يشكل بروتوكول نقل الصوت عبر الانترنت في الوقت الحالي كتلة لا تتجزأ من غالبية منصات ونماذج محاكاة الشبكات الحديثة. تعاني معظم منصات المحاكاة الموجودة حالياً من المحدودية في محاكاة نماذج تقييم جودة الكلام الذاتية والموضوعية، تهدف هذه الدراسة الى إجراء تكامل لمنهجيات تقييم جودة الكلام الموضوعية الغير التطفلية في المحاكى أوبنت، وذلك من خلال تضمين النموذج (E-model) الذي يمكننا من قياس قيمة متوسط الرأي الشخصي (MOS) للبيانات الصوتية التي يتم محاكاتها. حيث يتم ذلك من خلال التعديل على عقدة توليد حمل الخلفية التي تم اضافتها سابقاً الى المحاكى [1]، وفي الجزء الأخير من الدراسة تم تقييم لأداء خمسة من أشهر خوارزميات ترميز الكلام ذات معدل النقل الثابت (G.711, G.729, iLBC) والمتغيرة (AMR-NB, Speex) باستخدام النموذج السابق وذلك في نموذج شبكة كلية الهندسة المعلوماتية بجامعة البعث. أظهرت النتائج دقة التعديل على العقدة المضافة مقارنةً بالقيم النظرية لترميز الصوت كما أشارت إلى إن تحديد الخوارزمية المستخدمة هو أمر معقد ويعتمد على السيناريو المدروس وعلى حالة الشبكة المتغيرة وتوصيفها وبالأخص سرعة الوصلات، كما أظهرت أن الترميز الأكثر اعتدالاً من منظور جميع القياسات هو الترميز المتغير AMR-NB حيث أنه حقق أقل قيمة للحمل المستلم مع قيمة متوسط رأي شخصي جيدة وبالتالي يعد الأكثر ملائمةً لتطبيقه في شبكة كلية الهندسة المعلوماتية بجامعة البعث من بين الترميز المدروسة.

الكلمات المفتاحية: النموذج E-model، نماذج تقييم جودة الكلام، النمذجة والمحاكاة، المحاكى أوبنت، بروتوكول نقل الصوت عبر الانترنت، خوارزميات ترميز الكلام، ترميز الصوت، شبكة كلية الهندسة المعلوماتية بجامعة البعث.

¹ مدرس في قسم هندسة الشبكات والنظم الحاسوبية -كلية الهندسة المعلوماتية-جامعة البعث.

**Implementing of the E-model Speech Quality Assessment Model
in OPNET Simulator and using it to Evaluating the Voice Codec
in the Network of the College of Informatics Engineering at Al-
Baath University**

Dr.Eng Yaman Ghazi*

ABSTRACT

VoIP is currently an integral part of most modern network simulation platforms and models. Most of the existing simulation platforms are suffer from limited ability to simulate the subjective and objective speech quality assessment models. This study aims to integrate non-intrusive objective speech quality assessment methodologies in the OPNET simulator, by including the E-model, which enables us to measure the average Mean Opinion Score (MOS) for simulated voice data. This is done by modifying the background traffic generating node that was previously added to the simulator [1], and in the final part of the study the performance of five of the most popular fixed-rate speech coding algorithms (G.711, G.729, iLBC) and the variable (AMR-NB, Speex) will be evaluated using the previous model in the network of the faculty of information engineering AL-Baath university. The results showed the accuracy of the modification of the added node compared to the theoretical values of the voice codecs. It also indicated that the determination of the algorithm used is a complex matter and depends on the scenario studied and on the state of the changing network and its characterization, especially the speed of the links. AMR-NB as it achieved the lowest value of the received load with a good average MOS, and thus it is considered the most suitable for its application in the network of the Faculty of Information Engineering at Al-Baath University among the studied coding.

Keywords: E-model, Speech Quality Assessment Models, Simulation and Modeling, OPNET Simulator, Voice over Internet Protocol, Speech Encoding Algorithms, Voice Codec, Network of IT Engineering Al-Baath University.

*Lecturer, Department of Systems and Computer Network, Faculty of Informatics Engineering, Al-Baath University, Homs, Syria.

1. مقدمة:

يشير بروتوكول نقل الصوت عبر الانترنت الى تكامل الخدمات الهاتفية مع شبكات تبديل الرزم وهو خدمة هاتفية رقمية تستخدم شبكة الانترنت العامة بالإضافة الى الشبكة الخاصة بدلاً من شبكة الهاتف التقليدية. تحول أنظمة الـ VOIP الإشارة التماثلية الى إشارة رقمية لكي يتم نقلها على شكل رزم باستخدام بروتوكول الانترنت حيث توزع هذه الرزم عبر شبكة الانترنت أو أي شبكة تبديل رزم أخرى. يعتبر بروتوكول VOIP أحد أهم تقنيات الاتصالات الحالية حيث أنه يساعد في تحقيق الاستخدام الفعال لكل من عرض الحزمة والمعدات وخطوط النقل بالإضافة إلى تقليله لكلفة الاتصال. كما أنه يسمح بنقل أكثر من مكالمات هاتفية واحدة بالإضافة الى البيانات عبر نفس الحزمة. كما أنه من الممكن ترميز الكلام باستخدام خوارزميات مختلفة بغرض التكيف مع سعة القناة والملائمة مع الجودة المطلوبة مما يسمح بكفاءة وتحكم أكثر لاستخدام القناة. أي أنه مكن من استخدام المصادر الشبكية لاستخدامات متعددة، كما حقق كل من المرونة في التنقل، وإمكانية التوسعة، سهولة في الاستخدام، تكامل خدمات جديدة مثل [2]:

- القدرة على المحادثات الجماعية والبريد الصوتي.
- إمكانية تخصيص النغمات بالإضافة إلى إمكانية الاحتفاظ وإضافة تفاصيل الأشخاص المتصل بهم.
- إمكانية التحكم في الأرقام ومنع اتصال أو استقبال رقم معين.
- تسجيل سجل بجميع المكالمات الصادرة والواردة.
- رسائل تنبيهية والسماح بإعادة توجيه المكالمات من رقم معين إلى البريد الصوتي.
- عند الاتصال على رقم محدد يمكن أن نجعل أكثر من جهاز يقومون بعملية الرنين بشكل متزامن أو على التوالي (هذه الخاصية ملائمة كثيراً للأشخاص متعددي الخطوط الهاتفية).
- تحديد رقم واحد افتراضي يمكن أن يرتبط مع العديد من الخطوط الفعلية.

أدى نمو وزيادة استخدام بروتوكول نقل الصوت عبر الإنترنت إلى زيادة الحمل على الشبكة مما شكل مشكلة إذا لم يتم أخذه بعين الاعتبار حيث أنه من المتوقع أن خدمات VOIP سوف تستبدل كامل خدمات الاتصالات التقليدية. أحد الحلول الممكنة لكن المكلفة هي انشاء شبكة بيانات جديدة خاصة بالـ VoIP . إلا أن شبكات بروتوكول الإنترنت المتقاربة تسعى إلى تحقيق التعاون والنقل لكل من البيانات والصوت والفيديو باستخدام نفس العتاد الصلب أي تحقيق الدمج بين شبكة البيانات الموجودة مع خدمة VoIP وهو الحل الأفضل. مما يتطلب مراقبة النظام لمعرفة هل يلبي حاجة المستخدم أم لا. لكي نحصل على جودة كلام جيدة بواسطة تطبيقات VOIP يجب أن نحل مجموعة من وسائل جودة الخدمة. هذه الوسائط تساعدنا بتقييم كل من أداء مختلف البروتوكولات الشبكية، خوارزميات ترميز الكلام وغيرها. على أية حال فإن التكامل بين جميع أنواع الحمل في شبكة IP واحدة له العديد من الميزات والسلبيات. فرغم أنه يخفف الكلفة ويزيد كل من الوظيفية والحركة، إلا أنه يعاني أحياناً من تراجع في جودة الصوت، وعدم التوافق وغيرها.

2. الهدف من البحث:

المساهمة الرئيسية في هذا البحث هي بناء نموذج ضمن بيئة الأوبنت (من خلال التعديل على عقدة مولد حمل الخلفية التي تم اضافتها سابقاً الى المحاكى في [1]) تسمح بإجراء تكامل لمنهجيات تقييم جودة الكلام الموضوعية الغير التطفلية في المحاكى أوبنت، وذلك من خلال تضمين النموذج (E-model) الذي يمكننا من قياس قيمة متوسط الرأي الشخصي (MOS) للبيانات الصوتية التي يتم محاكاتها ضمن المحاكى. ومن ثم سوف يتم تقييم لأداء خمسة من أشهر خوارزميات ترميز الكلام ذات معدل النقل الثابت (, G.711 G.729, iLBC) والمتغيرة (AMR-NB, Speex) باستخدام النموذج السابق وذلك في نموذج شبكة كلية الهندسة المعلوماتية بجامعة البعث.

3. نماذج تقييم جودة الكلام:

جودة الكلام هي واحدة من أهم الخصائص التي تميز مرمزات الكلام، حيث تستخدم هذه المقاييس في تحسين كل من تصميم خوارزميات ومعدات نقل الكلام، بالإضافة الى

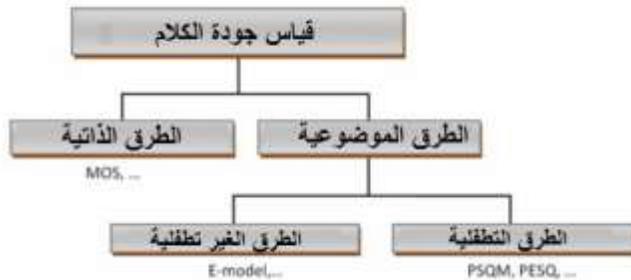
المساعدة في اختيار خوارزمية الترميز الأفضل من أجل التقييم. كما تستخدم في مراقبة جودة خدمات بروتوكول VOIP وتتخذ الإجراءات اللازمة للحفاظ على مستوى جودة الخدمة.

في المراحل المبكرة لتطور الاتصالات الرقمية كان معيار نسبة الإشارة إلى الضجيج هو الطريقة المتبعة لاختيار وتقييم جودة الترميز التي تعتمد على شكل الموجة مثل PCM وADPCM. وهناك الكثير من الأبعاد لإدراك الجودة بعض منها:

- ❖ الوضوح : يشير فيما إذا كانت رسالة إشارة الكلام مفهومة بشكل واضح أم لا.
- ❖ طبيعة و لطف الصوت: يرتبط هذا البعد بوجود أو غياب مختلف أنواع التشويه على الكلام، مثل الضجيج، الصدى، النقر، البهتان.
- ❖ تميز المتكلم لصوته: هذا المعيار يشير فيما إذا كان بإمكان المتكلم تميز أن هذا هو كلامه أم لا.

ومن المهم أن نلاحظ أن قياس جودة الكلام يجب أن يتم في ظل ظروف مختلفة مثل: الاعتماد على المتكلم - اللغة - مستويات الإشارة - ضجيج الخلفية - أخطاء القناة - الإشارة الغير الكلامية وغيرها.

كما هو موضح في الشكل (1) هناك نوعين أساسيين لمقاييس جودة الكلام هما المقاييس الذاتية والمقاييس الموضوعية. تشتمل المقاييس الذاتية على استماع البشر على محادثة حية أو مسجلة ويقومون بإعطاء تقييم للجودة المدركة. هذا التقييم يمكن أن يكون تقييم شامل لجودة الصوت أو تقييم خصائص معينة (مثل وضوح الكلام أو جهد الاستماع) أو تشوه معين (مثلاً لجزء معين) حيث إن الطلب من البشر الاستماع الى المقنطفات من الكلام ثم التماس رأيهم يعدّ الأسلوب الأكثر موثوقية لتقييم جودة الصوت.



الشكل (1): تصنيف طرائق تقييم جودة الكلام

تنطوي الطريقة الذاتية على تقديم مجموعة من عينات الكلام التي تميز ظروف مختلفة من النظام ليتم اختبارها من قبل مجموعة من المستمعين في بيئة مسيطر عليها. بعد سماع كل عينة يطلب من المستمع أن يعطي تقييماً بمقياس شخصي بسيط. من أجل كل عينة فإنه يتم أخذ المتوسط الحسابي للآراء. من الواضح إن الحصول على المقياس على النحو المبين في الأعلى يمكن أن يكون مقياساً جيداً لجودة الكلام المتصورة. مع ذلك فإن لهذه المقاييس بعض العيوب أيضاً. على وجه الخصوص إنه يمكن أن يكون مضيعة للوقت ومكلفاً. فقد لا يملك بعض الباحثين أو المنظمات الموارد اللازمة لإجراء هذه الاختبارات. كما أنه لا يمكن أن يستخدم في أي نوع من أنواع تطبيقات الزمن الحقيقي أو التطبيقات المباشرة (online) بغرض التنبؤ المباشر بجودة الكلام. تم سابقاً تحقيق طريقة لتقييم جودة الكلام ذاتياً من خلال اضافة عقدة الى بنية المحاكى أوبنت مخصصة لمحاكاة حمل الصوتي الحقيقي في الدراسة [4].

في السنوات الماضية تم تحقيق الكثير من الطرائق المؤتمتة بهدف نمذجة السلوك البشري والتنبؤ بشكل موضوعي بجودة الكلام. حيث كان هناك ضرورة ملحة لإيجاد النماذج التي يمكن أن تقدر جودة الكلام وذلك من تحليل الخصائص الفيزيائية للنظام (للطرفيات والشبكات) أو بشكل مباشر من إشارة الكلام التي يتم استلامها.

أدخلت النماذج الموضوعية للمرة الأولى بغرض تقييم جودة الكلام لأنظمة الصوت [5]. هنالك مجموعة من التصنيفات المشتركة التي يتم تطبيقها على النماذج الموضوعية وهذه التصنيفات تتعلق بالإشارة المستخدمة في توليد أو حساب التقييم النهائي لجودة الكلام. من أهم هذه التصنيفات الصنفين التاليين: تطفلية أو نشطة وغير تطفلية أو سلبية (خاملة).

تعتمد الأساليب التطفلية عموماً على حقن الإشارة المختبرة عبر الشبكة وخلال هذا الوقت فإن الشبكة لا يمكنها أن تنقل الحمل المباشر. وهذه الأساليب تقوم بتقدير نوعية الكلام عن طريق قياس الفرق بين مدخلات ومخرجات إشارة الكلام ورسم القيم المشوهة وذلك لتوقع مقياس الجودة. على العكس من التجارب الذاتية فإن هذه النماذج تمكن من إجراء اختبارات مكثفة خلال فترات قصيرة، وبالتالي فهي مفيدة خلال عملية تطوير/اختيار الترميز والمعدات. مع ذلك فإن الحاجة الى إشارة اختبار يضيف عبء اضافي على الشبكة وفي

بعض التطبيقات التي تتطلب تقييم جودة الكلام الموضوعي، قد لا تكون إشارة دخل الكلام متاحة بسهولة أو لا يمكن مقارنتها مباشرة مع إشارة الخرج، كما هو الحال في المكالمات الحية حيث أنه لا يوجد إشارة مرجعية. غالباً ما تستخدم الطرق التطفلية خلال مراحل تطوير النظام قبل نشره للمستخدمين.

في مثل هذه الحالات سوف يتم استخدام نهجاً بديلاً لحصول على تقييم جودة الكلام باستخدام إشارة الخرج فقط، مثلاً تقييم جودة الكلام الغير تداخلية. حيث هذا النوع مهم جداً للتطبيقات عندما تكون إشارة الدخل ليست متاحة، مثلاً تقييم أداء السمع ومراقبة أداء أنظمة الاتصالات الغير تطفلية مثل الاتصالات اللاسلكية وبروتوكول VOIP. تم تطويره بشكل أساسي لاستخدامه مع الحمل الحقيقي ويعتمد في عملية التقييم على معاملات الشبكة مثل التغيرات والتأخير وفقدان الرزم وغيرها.

سوف نركز في هذا البحث على تحقيق أحد اشهر النماذج الموضوعية غير التطفلية وهو النموذج E-model من خلال تحقيقه في المحاكى أوبنت.

4. النموذج E-model:

تم تطوير هذا النموذج من قبل المعهد الأوروبي للاتصالات الموحدة بين عامي 1993 و1996 كأداة لتخطيط للإرسال. أخيراً تم تقيسه في توصيات ITU-T G.107 [6] نموذجاً تحليلياً لتقدير جودة الصوت، يزودنا هذا النموذج بمنصة عمل لتوقع جودة الكلام بشكل مباشر بالاعتماد على مقاييس أداء الشبكة (كالتأخير وفقدان الرزم وغيرها) وعلى العوامل في مستوى التطبيقات. بكلمات مبسطة أنه أداة تساعدنا على توقع جودة الصوت خلال إجراء المحادثة الصوتية، هذا المعامل يساعد في دمج تأثير مختلف وسيطات الإرسال التي تؤثر في جودة المكالمات. يستند هذا النموذج على مفهوم أن العوامل النفسية على المقاييس النفسية هي المضافة وأن كل عامل تشوه والذي يؤثر على المكالمات الصوتية يمكن أن يحسب بشكل منفصل ولكنها تظل مرتبطة. النتيجة الأساسية للنموذج E هي حساب تصنيف انتقال العامل R، والذي هو مقياس بسيط لتقييم جودة الصوت وتتراوح قيمته بين قيمة 0 (ضعيفة) إلى القيمة 100 (ممتازة) والقيمة الأقل من 50 بالعموم هي قيمة غير مقبولة كما أنه القيم عادةً لا تزيد عن 94 ولذا فإن المجال النموذجي هو بين

في المحاكى أوبنت واستخدامه في تقييم خوارزميات ترميز E-model تحقيق نموذج تقييم جودة الكلام الصوت في نموذج شبكة كلية الهندسة المعلوماتية بجامعة البعث

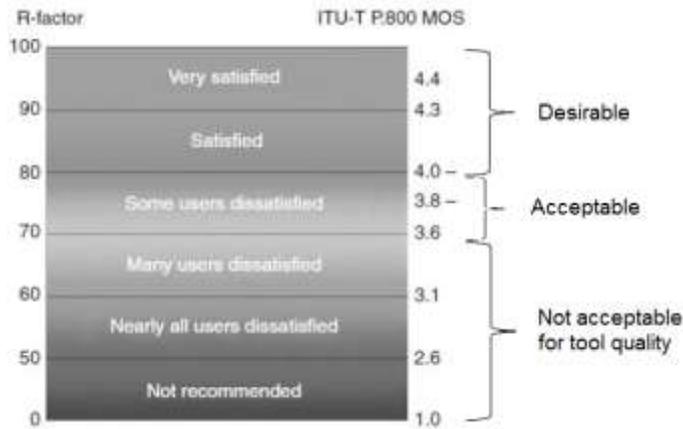
50-94، من أجل التراميز ذات النطاق العريض فإن قيمة R تزداد فوق القيمة 100. ثم يتم ترجمة العامل R لتحديد قيمة متوسط الرأي الشخصي (MOS). يغطي العامل R بعض قيم الانخفاض المفاجئ الناتجة عن الصفات مثل الصدى، وفقدان إشارة ضجيج الخلفية، وتشوهات الترميز وغيرها. وفقاً لـ [6] فإن المعامل R يرتبط بـ MOS من خلال المعادلة (1).

وبالاعتماد على العامل R يتم إسقاط قيمته للحصول على النتيجة MOS كما يظهر في الجدول (1)، كما يوضح الشكل (2) أيضاً رأي المستخدم بجودة الخدمة والتطابق بين مجالي MOS و R. الـ MOS لشبكات VOIP تستخدم نموذج E لتوقع الجودة المنعكسة عن التشوهات الناجمة عن كل من ضياع الضغط، فقدان الرزم، تقطيع الصوت، التغيرات خلال الفترات النشطة للصوت، تداخل الإشارة، الضجيج، والفرط في تشوه التوهين. يجب أن توافق جودة الصوت ضمن شبكة PSTN المجال التشغيلي $MOS \leq 3.6$. مجال التشغيل المرغوب فيه للحصول على جودة صوة مثالية $MOS \geq 4$.

$$\begin{aligned} MOS &= 1 & \text{if } R < 0 \\ MOS &= 1 + 0.035R + R(R - 60)(100 - R)7 \times 10^{-6} & \text{if } 0 < R < 100 \\ MOS &= 4.5 & \text{if } R > 100 \end{aligned} \quad [1]$$

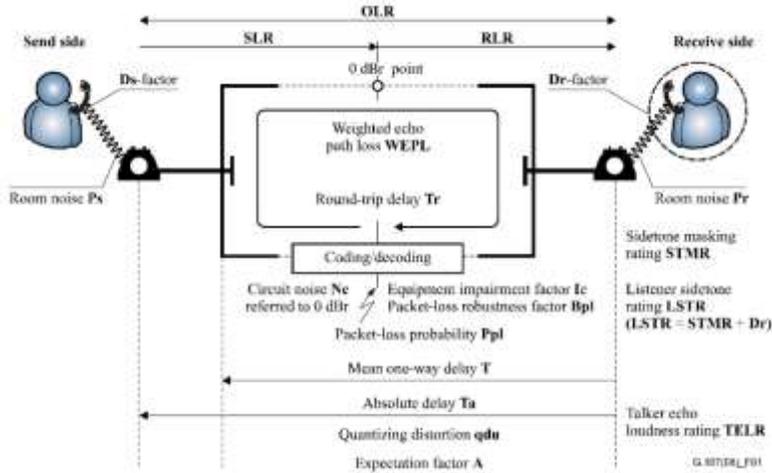
الجدول (1): إسقاط قيمة المعامل R على قيمة MOS [6]

<u>R-Factor</u>	<u>تقييم الجودة</u>	<u>MOS</u>
90 < R < 100	ممتاز	4.34 – 4.5
80 < R < 90	جيد	4.03 – 4.34
70 < R < 80	معتدل	3.60 – 4.03
60 < R < 70	ضعيف	3.10 – 3.60
50 < R < 60	سيء	2.58 - 3.10
0 < R < 50	لا ينصح به	1.0- 2.58



الشكل (2): يصنف جودة المكالمة في الشبكات VOIP باستخدام مقياس MOS والعامل R. [7]

يبين الشكل (3) وسيطات الارسال التي تستخدم كدخل للنموذج الحسابي E حيث إنه يقسم إلى جانبين هما جانب المرسل وجانب المستقبل. حيث إن النموذج يحسب جودة المحادثة من الفم للأذن عند استقبالها في طرف المستقبل. حيث أن Ps و Pr يمثلان ضجيج الغرفة عند كل من الشخص المرسل والمستقبل على التوالي أي يعبران عن ضجيج الخلفية. كما تمثل D-Factors الضجيج الناجم عن الميكروفون والسماعات، والذي من الممكن أن يتغير من جانب المرسل إلى جانب المستقبل والقيم تعالج بشكل منفصل في الخوارزمية. الوسطاء معدل جهازة صوت المرسل (SLR) ومعدل جهازة صوت المستقبل (RLR) وضجيج الدارة (Nc) تشير إلى نقطة 0dBm بشكل افتراضي. الوسطاء الأخرى تتضمن مجموع SLR و RLR، وتشوهات التكميم (qdu)، وتشوهات المعدات (Ie) هي قيم تؤخذ في جانب المستقبل فقط.

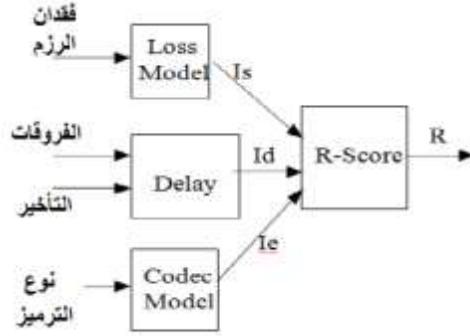


الشكل (3): وسيطات الإرسال لخوارزمية النموذج E [6].

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_e + A \quad [2]$$

معامل التقييم R يدمج بين جميع وسيطات الإرسال السابقة وتبين المعادلة (2) طريقة حساب المعامل R على النحو المبين في المعيار ITU-T G.107 [6]. حيث R_0 تمثل من نسبة الإشارة الأساسية إلى الضجيج عند المستقبل، بما في ذلك مصادر الضجيج مثل ضجيج الدارة وضجيج الغرفة. المعامل I_s يمثل الحمل على شبكة الاتصال ويدمج بين جميع التشوهات التي تحدث بشكل أكثر أو أقل مزامنة مع إشارة الصوت مثل تشويه التكميم (ضجيج التكميم). يرتبط كلا المصطلحين السابقين بإشارة الصوت الأصلية ولا يعتمدان على الإرسال ضمن الشبكة، وهما لا يرتبطان ببعضهما بعضاً. أما المعامل I_d يجمع كل العوامل التي تؤدي إلى حدوث التأخير والصدى في الإشارة الصوتية بالإضافة إلى تأثير ضعف المعدات الصلبة. المعامل I_e يمثل التشوه الناتج عن التراميز ذات معدل البتات المنخفضة بالإضافة إلى ضياع الرزم بسبب التوزيع العشوائي. يسمى الرمز A بعامل الأفضلية الذي يستفيد من كون المستخدمين على استعداد لقبول بعض التدهور في جودة الخدمة مقابل سهولة الوصول، يتم ضبطه من قبل المستخدم لكي يسمح للمستخدم بالتعويض عن عوامل التشوهات نتيجة لبعض الحالات مثل الحركة أو صعوبة الوصول للموقع. يتم جعل هذا العامل مساوياً إلى الصفر عند المقارنة مع المكالمات ضمن شبكة PSTN. تم تصميم برنامج من قبل الـ ITU-T يتيح إدخال قيم العوامل السابقة، ليعطي في خرجه قيمة كلاً من R و MOS. [6]

يوضح الشكل (4) اعتماد المعامل R على الوسطاء المختلفة.



الشكل (4): اعتماد المعامل R على الوسطاء المختلفة

تشير الفقرة (3-7) من المعيار ITU-T G.107 [6] الى القيم الافتراضية لجميع المعاملات في المعادلة (2). ويقترح بقوة في نفس الجزء أن القيم الافتراضية تتكيف مع جميع معاملات المعادلة (2) التي لا تتغير خلال العملية الحسابية. بتتبع هذا المبدأ فإن المعادلة (2) يمكن أن تكتب بطريقة بسيطة كما هو موضح في المعادلة (3) أدناه.

$$R = 93.2 - I_d - I_e \quad [3]$$

من المعادلة (3)، المعامل R (وبالتالي MOS) يمكن أن نفترض وصفه بأنه وظيفة لتشويه التأخير وعامل تشويه المعدات. في [6] تم تقديم تحليل مفصل لحساب هذين التشويهن. المعادلة (4) تمثل العوامل التي تدخل في كل من انخفاض التأخير، حيث يمثل المعامل I_{dte} تقدير التشوهات الناجمة عن صدى المتكلم. المعامل I_{dle} يمثل التشوهات الناجمة عن صدى المستمع، والمعامل I_{dd} يمثل التشوهات الناتجة عن قيم التأخير المطلق الكبيرة جداً T_a والتي تحدث حتى مع صدى الإلغاء التام [6].

$$I_d = I_{dte} + I_{dle} + I_{dd} \quad [4]$$

[6] يقدم نموذجاً لحساب عامل ضعف المعدات. المعادلة (5) تعرض جميع العوامل التي تدخل في حساب قيمة المعامل I_e لعملية الترميز تحت عشوائية فقدان الرزم. حيث I_{e0} تمثل معامل ضعف المعدات اللازمة من أجل عدم فقدان أي رزمة، قيمة الوسيط مستقلة عن الدخل والقيمة الموصى بها تعرض في ITU-T G.103 [8] للتراميز المختلفة. يعبر B_{pl} عن متانة فقدان الرزم لتراميز متحكم بها والقيم الافتراضية هي أيضاً مغطاة في [8]. يمثل احتمال فقدان الرزم بـ P_{pl} . الـ $BurstR$ تمثل نسبة انفجار فقدان الرزم.

$$I_e = I_{e0} + (95 - I_{e0}) \frac{P_{pl}}{\frac{P_{pl}}{BurstR} + B_{pl}} \quad [5]$$

من المعادلة (5) نستطيع أن نعرف نسبة خسارة الرزم المتدفقة (burst).

$$BurstR = \frac{\text{average length of observed bursts in an arrival sequence}}{\text{average length of bursts expected for the network under "random loss"}}$$

مثلاً: بإسناد القيم الافتراضية لكل المعاملات فإنه قيمة المعامل R للاتصال النموذجي باستخدام الترميز G.729A والذي لا يعاني من أية فروقات أو تأخير أو فقدان هي $R = R_0 - I_e = 94 - 11 = 83$

يعدّ النموذج E أكثر الطرق الهدفية وغير التطفلية استخداماً في تقييم جودة الصوت. بالأخص بالاعتماد على قاعدة بيانات IEEExplore فإن النموذج E مطبق بشكل كبير بالأخص في توجهات الأبحاث الحالية التي تعنى بتقييم جودة الصوت، حيث أنه منذ عام 1997 هنالك أكثر من 120 ورقة بحثية تتكلم عن هذا النموذج [9].

5. خوارزميات ترميز الكلام:

الكلمة codec هي اختصار لـ compressor-decompressor أو كما هو شائع أكثر coder-decoder (ترميز ضغط) وفك الترميز (فك الضغط)) الإشارة الصوتية إلى بتات رقمية لكي تستخدم من قبل شبكات الحاسب. يأخذ المرز الصوت المحلي ويحوّله إلى صيغة قابلة للنقل عبر الشبكة الرقمية. بينما يقوم مفك الترميز بالعمل المعاكس أي يأخذ الإشارات الرقمية من الشبكة ويحوّلها أو يفك تشفيرها إلى صيغة تمكن مكبر الصوت من قراءة الصوت المستقبل من الموقع البعيد [10]. بالعموم إن ترميز الكلام هو إجرائية تمثيل إشارة الكلام الرقمية باستخدام عدد بتات مختصر قدر الإمكان، مع تقدير مستوى الإجابة لجودة الصوت في الوقت ذاته. نتيجة لزيادة الحاجة إلى الاتصالات الصوتية فإن تقنيات ترميز الكلام حصلت على اهتمام واسع من قبل الباحثين وهيئات التقييس ومجتمعات رجال الأعمال. حيث أكدت الدراسات أن الترميز هي أحد أهم الجوانب في اتصالات VOIP وهناك العديد من الترميز المتاحة. حتى نحقق جودة صحيحة للصوت علينا اختيار الترميز الصحيح والمناسب.

الهدف الرئيسي لترميز الكلام هو إما زيادة الدقة مع معدل بتات ثابت أو إنقاص معدل البتات مع الحفاظ على جودة معينة. معدل البتات المناسب الذي سوف يرسل به الكلام أو يخزن يعتمد على كل من كلفة الإرسال أو التخزين، وكلفة الترميز (الضغط) لإشارة الكلام ومتطلبات جودة الكلام. في معظم الحالات وفي جميع مرمزات الكلام إن الإشارة المعاد بناؤها تختلف عن الإشارة الأصلية. معدل البتات سوف يتناقص من خلال تمثيل إشارة الكلام مع نقصان الدقة [11] ، لذا فإن الخصائص المطلوبة في مرمزات الكلام تتضمن: معدل بتات منخفض، جودة كلام عالية، المرونة من خلال الاختلافات بين المتكلمين / اللغات، الأداء الجيد عند ترميز الإشارات غير الصوتية (النفقات مثلاً)، استخدام حجم قليل من الذاكرة وتعقيد حسابي أقل، تأخير ترميز منخفض [11]. يمكن تصنيف خوارزميات ترميز الكلام بعدة وجهات نظر مثل معدل بتات الخرج (ثابت ومتغير)، ووفقاً لتقنيات الترميز (الترميز المعتمدة على شكل الموجة، المعتمدة على الوسطاء، الترميز الخليطة، الترميز ذات النمط الوحيد والترميز ذات الأنماط المتعددة)، وغيرها [12]. هنالك نقص في دعم خوارزميات الترميز عموماً ضمن المحاكيات وبالأخص ذات معدل الخرج المتغير-التي هي حالياً مستخدمة بشكل كبير في شبكات الحمل الصوتي-حيث أن هذه الترميز قادرة على التكيف مع ضعف قناة الإرسال وبالتالي تحسين في استخدام عرض الحزمة مع التقليل من فقدان الرزم وفي بعض الحالات التقليل من التغيرات. سوف نقدم في الجزء التالي لمحة سريعة عن الترميز المراد مقارنتها في عملية الإختبار.

5-1. ITU-T G.711: هو أحد أنواع ترميز التعديل النبضي (PCM) للترددات الصوتية ، مقيس من قبل الاتحاد الدولي للاتصالات [13] بالتوصيات [14] ، صدر لأول مرة للاستخدام في عام 1972 من قبل الاتحاد الدولي للاتصالات. خوارزمية G.711 مستخدمة بشكل كبير في الاتصالات الهاتفية (شبكات PSTN)، في الوقت الحاضر يتم تضمينه في معظم الخدمات الصوتية ومنتجاتها. معدل أخذ العينات في هذا الترميز هو 8000 عينة في الثانية الواحدة (كما هو معروف حسب نظرية شانون). مع نسبة تسامح بمعدل 50 جزء في المليون [14]. كما أنه يستخدم التكميم غير الموحد (لوغاريتمي) بـ 8 بت لتمثيل كل عينة مما ينتج معدل نقل مقداره 64 كيلو بايت في الثانية ومدة الإطار هي 10 ميلي ثانية. لهذا الترميز اصدارين مختلفين قليلاً: الأول هو μ -law ويستخدم بشكل

أساسي في شمال أمريكا واليابان، والأخر هو A-law ويستخدم في باقي البلدان. خوارزمية الترميز G.711 لا تنتج تأخير كبير. الملحق الأول للتوثيق الصادر عن الاتحاد العالمي للاتصالات [15] يعرف خوارزمية اخفاء فقدان الرزم (PLC)، أما الملحق الثاني [16] يعرف خوارزمية الارسال غير المستمر (DTX) والتي تستخدم نماذج الكشف عن نشاط الصوت (VAD) ونماذج تحمل توليد الضجيج (CNG) كي نقل من عرض الحزمة خلال فترات الصمت من المحادثة.

5-2. ITU-T G.729: أصبح هذا الترميز معياراً في عام 1996 بعد أن تم تقيسه من قبل الاتحاد الدولي للاتصالات بالمعيار [17]، وهو خوارزمية تستخدم لترميز إشارات الكلام بمعدل 8 كيلو بت في الثانية باستخدام طريقة التنبؤ الخطي ذو الشفرة الجبرية المنفصلة ذات البنية المترافقة (CS-ACELP). المرمز مصمم ليعمل بمعدل أخذ عينات هو 8000 هرتز يتبع بتحويل PCM خطي ب 16 بت. خرج عملية فك الترميز يجب أن يتم تحويله الى اشارة تشابهية بطريقة مماثلة [17]. العملية التفصيلية لكل من اجرائية الترميز وفك الترميز يمكن أن نجدها في البندين 3 و4 من [17]. حجم الإطار الناتج عن الترميز هو 10 بايت ومدة الإطار هي 10 ميلي ثانية. عرض الحزمة الناتج هو 8 كيلوبت في الثانية. في G.729 يتم تطبيق تأخير 5 ميلي ثانية وتقييم تعقيد هذه الخوارزمية هو 15 وذلك باستخدام مقياس نسبي حيث أن خوارزمية G.711 [14] تقيمها 1 وخوارزمية G.723.1 [18] تقيمه 25. هنالك أكثر من 12 مرفق تم اضافتها الى المعيار الأصل. في بعض هذه الملاحق تم وصف الوظائف الجديدة التي تم تضمينها. يفتقر هذا الترميز يفتقر لمعدل النقر المتغير وDTX.

5-3. iLBC: ترميز معدل النقل المنخفض للإنترنت [19] هو خوارزمية مجانية لترميز الكلام ذو النطاق الضيق. تم تطويره من قبل Global IP Sound وتم تقيسه من قبل IETF بالمعيار RFC 3951 في عام 2004، وهو مناسب لكل من الاتصالات الصوتية عبر بروتوكول IP، تدفق الملفات الصوتية وأرشفة الملفات. هذه الخوارزمية تستخدم الخوارزميات الخطية للتنبؤ بالترميز (block-independent linear-predictive coding (LPC)). يدعم طولين أساسيين للإطارات هما: 20 ميلي ثانية و30 ميلي ثانية وبتردد أخذ عينات مقداره 8000 هرتز. الجدول (2)

يعرض عرض الرزمة وحجم الإطار لكل من نمطي هذا الترميز. ترميز iLBC يحقق خوارزمية اخفاء فقدان الرزم للتحكم بالاستجابة عند فقدان الرزم بشكل مشابه لما تم الإشارة اليه في الملحق الأول للخوارزمية G.711.

الجدول (2): أنماط معدل النقل للخوارزمية iLBC [19]

نمط الترميز	حجم الإطار (bits)	معدل نقل الخرج (kbps)
20 ميلي ثانية	304 (38 Byte)	15.2
30 ميلي ثانية	400 (40 Byte)	13.3

4-5 Adaptive Multi-rate Compression (AMR): تهدف هذه الخوارزمية إلى ترميز الكلام بمعدل بتات خرج متغير، حيث أنها أصبحت قياسية من خلال المشروع (3GPP) في عام 1998 [20] وهي حالياً مستخدمة بشكل كبير في كل من أنظمة اتصالات الموبايل (GSM و UMTS)، وشبكات بروتوكول VOIP [21]. اعتمد AMR من قبل مشروع 3GPP كترميز الزامي في كل من أنظمة الاتصالات اللاسلكية 2.5G و 3G بالاعتماد على تطور شبكات GSM. كتلة هذا الترميز يتكون من عدة رموزات بمعدلات متعددة، الية التحكم بمعدل المصدر تتضمن خوارزمية اكتشاف نشط الصوت (VAD)، وتحمل تولد الضجيج (CNG)، والية التسامح بالخطأ لمكافحة آثار أخطاء الإرسال وفقدان الرزم. رمز هذه الخوارزمية يأخذ مدخلات بمقدار 13 بت من اشارة PCM المنتظمة إما من الجزء الصوتي الخاص بمعدات المستخدم أو من جانب الشبكة من PSTN عبر تحويل الـ 8 بت A-law أو μ -law إلى 13 بت من PCM المنتظم. الكلام المرمز عند خرج مرمز الكلام يتم تغليفه وتسليمه الى بطاقة الشبكة، وعند المستقبل تحدث العملية المعاكسة.

خوارزمية AMR ذات النطاق الضيق (Narrow Band) صممت خصيصاً لتحسين متانة الخطوط حيث أنها تدعم التكيف الديناميكي مع شروط الشبكة باستخدام معدل بتات منخفض خلال مراحل ازدهام الشبكة أو تدهورها مع الحفاظ على جودة الكلام. من خلال تداول معدل نقل الكلام لترميز القناة فإن AMR تزيد من احتمال استقبال الإشارة في المسافات البعيدة. يعمل الترميز AMR-NB بمعدل بتات مقداره 8 بتات، الجدول (3)

يعرض جميع الأنماط الثمانية بالإضافة الى النمط AMR_SID، والذي يشير الى وصف
الاطارات الصامتة. مدة الإطار لترميز AMR-NB هي 20 ميلي ثانية.

الجدول (3): أنماط معدل النقل وارتباطها مع عرض الحزمة لترميز AMR-NB [20]

نمط الترميز	معدل بتات الخرج (kbps)
AMR_12.20	12.20
AMR_10.20	10.20
AMR_7.95	7.95
AMR_7.40	7.40
AMR_6.70	6.70
AMR_5.90	5.90
AMR_5.15	5.15
AMR_4.75	4.75
AMR_SID	1.8

5-5. Speex: ترميز [22] Speex هو برمجية مجانية ومفتوحة المصدر. تم تطويرها
من قبل Jean-Marc Valin ومؤسسة Xiph.org. كما أنها تشهد تطور وتحسن
مستمر حيث يقوم مجموعة من المستخدمين ومجموعات متحمسة من المبرمجين بتطويره
دورياً. حالياً تم دمج هذا الترميز مع أكثر من 15 من المنصات والتطبيقات وتستخدم بشكل
كبير مع بيئات بروتوكول VOIP نظراً لأن هذا الترميز صمم خصيصاً من أجل دمج الكلام
مع شبكات IP [22] [23]. يستخدم هذا الترميز مع كل من Asterisk، Microsoft
Netmeeting، Microsoft Xbox live و Google voice. ترميز Speex صمم
لكي يكون مرناً جداً ويدعم مجموعة واسعة من جودة الكلام وتغير معدل البتات. دعم جودة
الكلام العالية جداً تعني أن هذا الترميز يمكنه أن يرمز الكلام ذا النطاق العريض مثلاً
عينات بمعدل 16 كيلو هرتز بالإضافة الى الكلام ذي النطاق الضيق وبمعدل أخذ عينات
يساوي الى 8 كيلوهرتز. ترميز Speex قادر على تغير التعقيد للرمز. عدد صحيح يتراوح
بين 1-10 للتحكم بإجرائية الترميز المفضلة (القيمة 1 تعني أقل جودة وأقل عرض للرمز
بينما القيمة 10 هي أفضل جودة للكلام وأعلى استهلاك لعرض الرزمة). عند التطبيق

العملي فإن أفضل قيمة هي التي تكون بين 2 و4 على الرغم من أن القيم العليا مفيدة عند ترميز الأصوات التي لا تحوي على كلام مثل نغمات [22].

الجدول (4) يعرض الأنماط المختلفة لترميز Speex ذو النطاق الضيق. كما هو مبين في القسم السابق فإن خوارزمية الترميز سوف تبدل بين المعدلات بالاعتماد على خصائص إشارة الدخل وإعدادات الترميز. ترميز Speex يمكنه أيضاً أن يعمل بنمط معدل البيانات ثابت عندما يتم ضبط وسيطاته على ذلك.

الجدول (4): أنماط التشغيل لترميز Speex narrowband [22]

نمط الترميز معدل ترميز شيفرة المصدر

250 bps	0
2.15 kbps	1
5.95 kbps	2
8 kbps	3
11 kbps	4
15 kbps	5
18.2 kbps	6
24.6 kbps	7
3.95 kbps	8

يجدر الإشارة الى أن الخوارزميات الخمسة قد تم تضمينها سابقاً في المحاكى وأبنت كما ورد في كل من الدراسة [1] والدراسة [24] والدراسة [25].

6. الدراسات السابقة:

قبل إجراء هذه الدراسة تم مسح لمجموعة كبيرة من نماذج تقييم جودة الكلام وهي: نماذج تقييم جودة الكلام الذاتية:

- طرق (MOS) ITU-T P.800 لتحديد موضوعية جودة الإرسال [26].
- تصنيف التقييم المطلق ACR. (جهد السمع - جهازة الصوت).
- DCR (تقييم التراجع).
- CCR (تقييم الضغط).

• نموذج Opinion Equivalent-Q [27].

• طريقة Diagnostic Acceptably Method [28].

نماذج تقييم جودة الكلام الموضوعية:

طرق تقييم جودة الكلام الموضوعية يمكن أن تصنف إلى عدة مجموعات وذلك من عدة
وجهات للنظر، إجرائية القياس ومعلومات الدخل المستخدمة من قبل نموذج تقييم الجودة.
هذه التصنيفات هي:

• نماذج طبقة الكلام (Speech-Layer Models): هي نماذج موضوعية تتطلب

إشارة الكلام كدخل لها وتتوقع جودة الكلام [27] [29]. قد طورت أساليب متعددة لهذا
الصف، بدءاً من نماذج بسيطة للغاية حيث يتم فحص التشوه الموجي من خلال مقارنة
إشارة الدخل مع إشارة الخرج بالاعتماد على التشوه الطيفي والتصنيفية الرقمية المطبقة
على إشارة الصوت.

• نماذج طبقة الرزمة (Packet-Layer Models): نماذج موضوعية تستخدم

خصائص رزم IP فقط لتنتج جودة الكلام [27] [29]. هذه النماذج لديها ميزة القدرة
على مراقبة جودة المكالمات الهاتفية الحية، وعادة يتم تطبيقها في هواتف IP.
على الرغم من أن النموذجين السابقين ينتجان الوسطاء أنفسهم (مثلاً جودة المكالمات)،
إلا أنه يستخدمان في سيناريوهات مختلفة. على سبيل المثال إن كان من المستحيل أو
من الصعب الحصول على عينات من الكلام الحقيقي عن طريق مراقبة جودة الخدمة،
وبالتالي يتعين علينا أن نستخدم نماذج طبقة الرزمة. على العكس من ذلك إن كان من
الصعب الحصول على معلومات الرزمة الضرورية أو أننا بحاجة للحصول على دقة
عالية للجودة قدر الإمكان فعندها يجب أن نستخدم نماذج طبقة الكلام.

• نماذج الرأي (Opinion Models): نماذج الرأي هي مجموعة من منهجيات تقييم

النوعية الموضوعية التي تستخدم كل من الشبكة ووسيطات الجودة كي تقدر جودة
المكالمة [27] [29]. هذه النماذج يشار إليها إلى أنها الأكثر اكتمالاً لأنها تنظر إلى
كل من تدهور الجودة الناتجة عن ترميز الكلام، أخطاء البتات، التدهورات الناتجة عن
محولات الطاقة الصوتية، فضلاً عن نقاط الضعف التي تتعلق بشبكات IP مثل فقدان

الرزم والتغيرات وتأخير الشبكة. يمكن أن ينظر الى هذه النماذج على أنها مزيج من النموذجين السابقين. هذه النماذج تم دراستها منذ مدة طويلة ومع ذلك لا يوجد الكثير من المقترحات التي وصلت الى مرحلة أن تصبح معايير قياسية.

نماذج تقييم جودة الكلام الموضوعية التطفلية التي تم مسحها:

- ITU-T P.861. Perceptual Speech Quality Measure (PSQM, PSQM+, PSQM/IP) [30] [31] [32] [33]
- ITU-T P.862 الإدراك الحسي لتقييم جودة الكلام (Perceptual Evaluation of Speech Quality (PESQ) [34].

نماذج تقييم جودة الكلام الموضوعية الغير تطفلية التي تم مسحها:

- طريقة ITU-T P.563 الموضوعية والأحادية الجانب لتقييم جودة الكلام في تطبيقات الاتصالات الهاتفية ذات النطاق الضيق (طبقة الكلام) [35] [36].
- تقنيات تكميم الشعاع (Vector quantization techniques) (طبقة الكلام) [37] [38].
- تقييم جودة الكلام الغير تطفلي باستخدام واجهة نظام Neurofuzzy المتكيفة (طبقة الكلام) [39].
- المراقبة في الزمن الحقيقي لقياس جودة مكالمات VOIP المباشرة (طبقة الرزمة) (P.VTQ) [40].
- ITU-T G.107 (E-model)، النموذج الحسابي المستخدم في التخطيط للإرسال (نموذج الرأي) [6].

إن جميع المقالات البحثية توصي باضافة احد نماذج تقييم جودة الكلام الموضوعية ضمن كل محاكي شبكي وقد وجدنا أن أكثر خوارزمية ملائمة للمحاكي الشبكي أوبنت هي E-model، لذا كان هدف هذا البحث هو تحقيق نموذج يمكننا من اضافة النموذج E-model في المحاكي أوبنت والذي يزودنا بطريقة فعالة وبسيطة لإيجاد ارتباطات بين التنبؤ بجودة الكلام وتشوهات الشبكة، ومن ثم تقييم أداء خمسة من خوارزميات الترميز

(الثابتة والمتغيرة) الأكثر شهرة واستخداماً في الدراسات المرجعية باستخدام النموذج
المضاف وذلك في نموذج شبكة كلية الهندسة المعلوماتية بجامعة البعث.
7. محاكي الشبكات أوبنت:

إن OPNET عبارة عن أداة تجارية من شركة MIL3 [41] طورها الطالب Alain Cohen في عام 1986 وهو اختصار لـ Optimized Network Engineering Tools أي أدوات هندسة الشبكات المحسنة. هو أحد أشهر المحاكيات الشبكية وأكثرها شعبية نتيجةً لاستخدامه الواسع في مجالي الصناعة والأبحاث الشبكية [42]، وهو نظام هندسي قادر على محاكاة شبكات اتصال ضخمة مع نمذجة تفصيلية للبروتوكولات، والتطبيقات، والأجهزة، وتحليل للأداء. في عام 2000 تم تغيير اسم الشركة MIL3 إلى OPNET Technologies, Inc وذلك تزامناً مع الإصدار السابع منه، وتم شراؤها من قبل Riverbed في عام 2012.

ميزته أنه يمتلك واجهات صورية قوية جداً للنموذج، محاكاة ديناميكية، وجدولة للأحداث، وأدوات تحليل متكاملة، وهرمية للبيانات [43]. ببساطة هو أداة محاكاة للشبكة تتيح تعريف طوبولوجيا الشبكة، العقد، التوصيلات، التطبيقات وغيرها. كما يمكن للمستخدم أن يعرف العمليات التي يمكن أن تحدث في عقدة جزئية وخصائص توصيلات الإرسال، وبعد ذلك تنفذ المحاكاة وتحلل النتائج لأي عنصر في شبكة المحاكاة [44]. كما إن OPNET هو بيئة محاكاة غرضية التوجه يحقق كل المتطلبات ويعتبر محاكي الشبكة الأكثر فعالية للأغراض العامة، ويشمل أيضاً على أدوات التحليل المخصصة لتفسير وتركيب الخرج ويعتمد محاكاة الأحداث المتقطعة. علاوة على ذلك فهو يتضمن دعم للغة C مزوداً بالقدرة على تحقيق أي مهمة أو بروتوكول. إن مجال واسع من أنظمة الاتصال بدءاً من شبكات LAN البسيطة حتى شبكات الأقمار الصناعية مدعومة من قبل OPNET. لكن من سيئاته أنه يحتاج إلى Compiler مثبت على جهاز الكمبيوتر لكي يستطيع العمل كما انه كبير الحجم وغالي الثمن إذا استخدم للأغراض التجارية ولكنه مجاني للأغراض البحثية بالإضافة إلى انه معقد مما يستغرق الكثير من الوقت أثناء التعلم.

لقد قمنا في هذا البحث باختيار برنامج (OPNET Modeler version 14.5) وهو برنامج معروف عالمياً في مجال محاكاة الشبكات ذات الأغراض العامة، وقد تم اختياره نتيجة لدعمه المميز لبروتوكول نقل الصوت عبر الإنترنت كما أنه يعد السباق في محاكاة خوارزميات ترميز الكلام، كما أن معظم الأبحاث المرجعية التي شملتها الدراسة المرجعية قامت باستخدامه، ومعظم المحاكيات الأخرى التي قمنا بتجريبها لا تحتوي على نماذج تدعم أبسط خوارزميات الترميز الشائعة، بالإضافة إلى ما يتمتع به من ميزات سواء احتواءه على واجهة رسومية GUI تسهل على المستخدم تصميم النماذج، كما أنه يملك مكتبة كبيرة جداً من النماذج الجاهزة للاستخدام والقابلة للتعديل، ونتيجةً للتبسيط والسهولة التي يقدمها لإضافة أي مكون جديد نتيجة لاعتماده على مفهوم الطبقات ومخطط الحالات وعلى لغة Proto C البسيطة والشهيرة، إضافةً إلى دعمه للعديد من نماذج التطبيقات كالبريد الإلكتروني وتصفح الإنترنت ونقل الملفات والاستعلامات وغيرها والتي يمكن تخصيصها بسهولة، بالإضافة إلى أنه موثوق بشكل جيد ويؤمن إمكانية عرض النتائج بشكل رسومي مما يسهل تحليلها، أي أنه ببساطة يؤمن متطلبات البحث.

8. تحقيق النموذج E-model في المحاكى أوبنت:

كما ذكرنا سابقاً لتحقيق هذا النموذج يجب حساب "معامل التقييم (Rating Factor)" والذي يقيس جودة الكلام ويأخذ قيمة ضمن المجال 0 و 100 ويمكن أن يسقط ليعطي تقييم لرأي المستخدم (متوسط الرأي الشخصي). بالأخذ بالحسبان كل من الفرضيات والاقتراحات من ITU-T G.107 التي تم مناقشتها [25] وبالأخص التعديلات التي اضيفت في عام 2000 والتي عرضت في الملحق A من [6]، المعادلة (3) تختزل المعادلة (2). حيث I_e تمثل معامل تلف المعدات، حيث إن هذا المعامل يعدّ تأثيراً للترميز وفقدان الرزم نتيجةً لتوزيع العشوائي، والمعامل I_d هو تلف التأخير المرتبط بالصدى والتأخير الكلي في مسار النقل. لأغراض توضيحية فإن المعادلة (3) يعاد تعريفها كما في المعادلة (6).

$$R = 93.2 - I_d - I_e \quad [6]$$

8-1. حساب معامل تشوه المعدات (I_e): تمثل المعادلة (5) النموذج المقترح من قبل ITU-T G.107 [6] لحساب معامل تلف المعدات I_e . من هذه المعادلة اثنين من العوامل

المستقلة يمكن اخراجها. الأول معامل تلف المعدات عندما يكون فقدان الرزم صفرية حيث أنه يبحث حصراً في تدهور نوعية الكلام كنتيجة لانخفاض معدل بتات عملية الترميز. العامل الثاني يتضمن التأثير على جودة الكلام كنتيجة لفقدان الرزم. هذان العاملان مستقلان عن بعضهما، على الرغم من أن كل منهما تابع للترميز. يمكن كتابة نسخة مبسطة وصالحة من المعادلة (5) كما في المعادلة (7) حيث I_{e0} تمثل معامل ضعف المعدات الموافق لشرط [7] يكون فقدان الرزم صفرية و $I_{e_pktloss}$ تمثل معامل تأثير ضعف المعدات المرتبط بمعدل فقدان الرزم.

$$I_e = I_{e0} + I_{e_pktloss}$$

الإجرائية التالية الموصى بها من قبل ITU لإيجاد الترميز الصحيح التابع لوسيطاته والذي يساهم في حساب ضعف المعدات (مثلاً I_e عندما تكون الرزم المفقودة صفرية أو مرونة فقدان الرزم) يتطلب إجراء اختبار ذاتي موسع. قيمة I_e الموافقة لفقدان الرزم الصفري ومرونة فقدان الرزم لبعض مقاييس ITU التي تخص خوارزميات ترميز الكلام يمكن أن نجدها في ITU-T G.113 [8]. الاختبارات الذاتية يمكن أن تكون مستهلكة للوقت وعملية مكلفة. بعض الباحثين والمنظمات ربما ليس لديهم المصادر لإجراء الاختبار، لتغطية هذه المحدودية فإن المنهجية المعروضة في [45] تسمح بتوليد الوسطاء الضرورية للنموذج E للترميز المتحكم به. أيضاً الدراسة المقدمة في [46] تحسن العمل المعروض في [45]. بهذا فإن النموذج E يصبح متاحاً لعدد واسع من الترميز بما يتضمن بعض خوارزميات الترميز المتغيرة. في الدراسة [46] يتم الحصول على الوسطاء المراد تكاملها مع النموذج E لكل من الترميز AMR-NB والترميز iLBC.

الجدول (5): وسطاء خوارزمية ملائمة المنحني التي تعطي التابع التحليلي المستخدم في

حساب معامل ضعف المعدات [46] [45]

الوسيط	AMR (H)	AMR (L)	G.729	G.711	iLBC
a	16.68	30.86	21.14	30	12.59
b *100	30.11	4.26	12.73	15	9.45
c	14.96	31.66	22.45	0	20.42

الخوارزمية المقدمة في [46] في خطواتها الأولى تستخدم PESQ [34]، نموذج تقييم جودة الكلام الموضوعي التداخلي وذلك لحساب I_{e0} . قيمة MOS عند شروط فقدان الرزم الصفري يتم الحصول عليها من PESQ. بحل المعادلة (1) من أجل المعامل R ، وبافتراض أن قيمة MOS المحسوبة باستخدام PESQ لا تأخذ بالاعتبار أي تأخير من النوع M2E ($I_d=0$) يضعف المعدات الموافق لفقدان الرزم الصفري (I_{e0}) يمكن الحصول عليه بسهولة. الخطوة الثانية هي أن نحدد كم مقدار تأثر كل خوارزمية ترميز بفقدان الرزم ($I_{e_pktloss}$). يتم إنجاز عملية مشابهة حيث إن الكلام يتعرض الى قيم متزايدة من فقدان الرزم التي يتم حقنها في نموذج PESQ [34]. بمعرفة قيمة I_{e0} للترميز المستخدم، يمكن رسم الشكل الذي يوصف $I_{e_pktloss}$ مقارنةً مع فقدان الرزم. أخيراً باستخدام خوارزمية ملائمة المنحني (والتي تعطي تابعاً تحليلياً). المعادلة (8) تعرض مثل هذا التابع حيث P هي نسبة الرزم المفقودة و a و b و c هي وسيطات هذه الخوارزمية. الجدول (5) يعرض قيم a و b و c للترميز PLC G.711، والترميز AMR-NB($H=12.2$)، والترميز AMR-NB($L=4.75$)، والترميز iLBC-20ms، ولخوارزمية G.729.

$$I_e = a \ln(1 + bp) + c \quad [8]$$

2-8. حساب معامل تشوه التأخير (I_d):

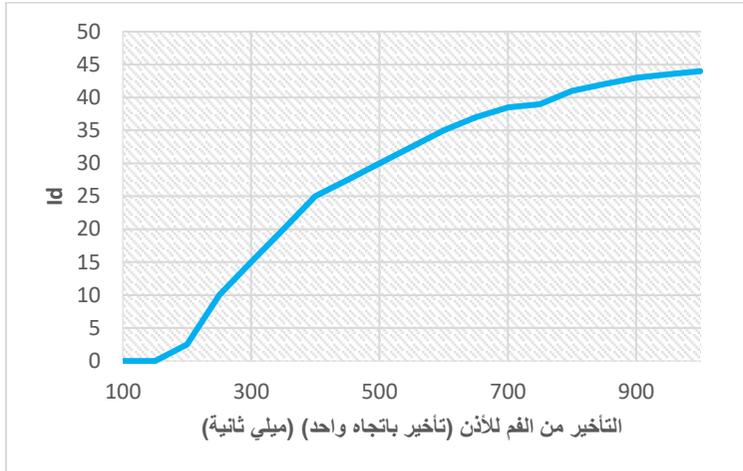
المعادلة (4) تعرض جميع العناصر اللازمة لحساب معامل ضعف التأخير I_d . طالما أن الهدف من هذا البحث هو التركيز على تطوير أداة تقييم لشبكات تبديل الرزم، التأثير الذي نحصل عليه في شبكة تبديل الدارة هو ضئيل. علاوة على ذلك بالأخذ بالحسبان الغاء الصدى المثالي. من ITU-T G.107 [6]، I_d كتابع للتأخير M2E ((ميلي ثانية)) باتجاه واحد، T_a يمكن أن يكتب بـ:

$$I_d = I_{dd} = 25 \left[\sqrt[6]{1 + X^6} - \sqrt{1 + \left(\frac{X}{3}\right)^6} + 2 \right] \quad [9]$$

$$\text{where } X = \log_2\left(\frac{T_a}{100}\right)$$

لأغراض مرجعية فإن المعادلة (9) ترسم في الشكل (5) من أجل M2E أعلى من ثانية واحدة. يمكن أن نلاحظ أنه من أجل التأخير الأدنى من 200 ميلي ثانية فإنه لا يوجد تشوه في الصوت وذلك وفقاً لضعف التأخير المسجل. من أجل قيمة التأخير M2E بين 200 ميلي ثانية و600 ميلي ثانية فإن تأثير التأخير M2E ينعكس تقريباً بشكل خطي في ضعف التأخير. من أجل قيمة التأخير M2E أعلى من 600 ميلي ثانية فإن Id ينتقل بشكل متقارب رياضياً الى القيمة 50. ($\lim_{x \rightarrow \infty} eq. 3.14 = 50$).

المعادلة (6-1) المبينة في [25] تستخدم لحساب التأخير M2E باتجاه واحد. احترام هذا المعادلة الموجودة في حساب الإطار AMR-NB أنها تطبق على جميع الترميز. القيم المرجعية للتأخير المتعلقة بخوارزميات الترميز - فك الترميز لكل من G.711 و G.729 و iLBC يمكن أن نجدها في الملحق الأول لـ ITU-T G.114 [47]. معظم الأبحاث الحالية التي تعتمد على النموذج E [46] [48] لا تأخذ بالحسبان اختلاف الوقت وفقاً لطبيعة التشوه. مما يعطي نتائج مضللة. كمثال توضيحي، بافتراض محادثة مدتها 100 ثانية. من أجل فقدان 1% النماذج التقليدية سوف تكتشف معظم تدهورات الجودة الغير الملحوظة. على أية حال إذا كان معدل فقدان الرزم 1% متركز في ثلاثة ثواني، وبالتالي خلال هذا الوقت فإنه حصل فقدان رزم بمعدل 30% مما يعطي تشوهاً في جودة الصوت ملحوظاً ومعتبراً. في هذه الأطروحة طالما أن كل من قيم معدل فقدان الرزم والتأخير M2E ومدة المخزن المؤقت يتم الحصول عليهم خلال المحاكاة، فإن اختلاف الوقت للتشوهات الشبكية يسبب تدهورات في الكلام. الشكل (6) يعرض تحقيق الأوبنت لحساب الـ MOS بالاعتماد على تحقيق النموذج E-model في عقدة الزبون. من أجل حساب ضعف المعدات فإن الوسطاء gamma1 و gamma2 و gamma3 مرتبطة بالوسطاء c و a و b من المعادلة (6-13) على الترتيب.



الشكل (6): نموذج تلف التأخير للمعيار ITU-T G.107

```
// حساب معامل تشوه التأخير
X = 1.442695*log ((double) delay_total/100); //log(x) is actually ln(x) in C programming
//log2(x) = ln(x)/ln(2); 1/ln(2) ~ 1.443
Id = 25*( pow( 1+pow(X,6), (double)1/6) - 3*( pow( 1+ pow((double)X/3,6), (double)1/6) ) + 2 );
// حساب معامل تشوه المعدات
Ief = gamma1 + gamma2*log(1+ (double)gamma3*pkt_loss_ratio/100);
// حساب قيمة المعامل
R = 93.2 - Id - Ief;
// استنتاج قيمة متوسط الرأي الشخصي من القيمة R
1T (R<6.5)
MOS = 1;
else if (R> 100)
MOS = 4.5;
else // 6.5<R<100
MOS = 1 + 0.035*R + 7e-6*R*(R-60)*(100-R);
```

الشكل (7): حساب الـ MOS بالاعتماد على تحقيق النموذج E في عقدة الزبون

9. تقييم أداء الخوارزميات المدروسة في نموذج شبكة كلية الهندسة المعلوماتية بجامعة

البعث باستخدام النموذج E-model:

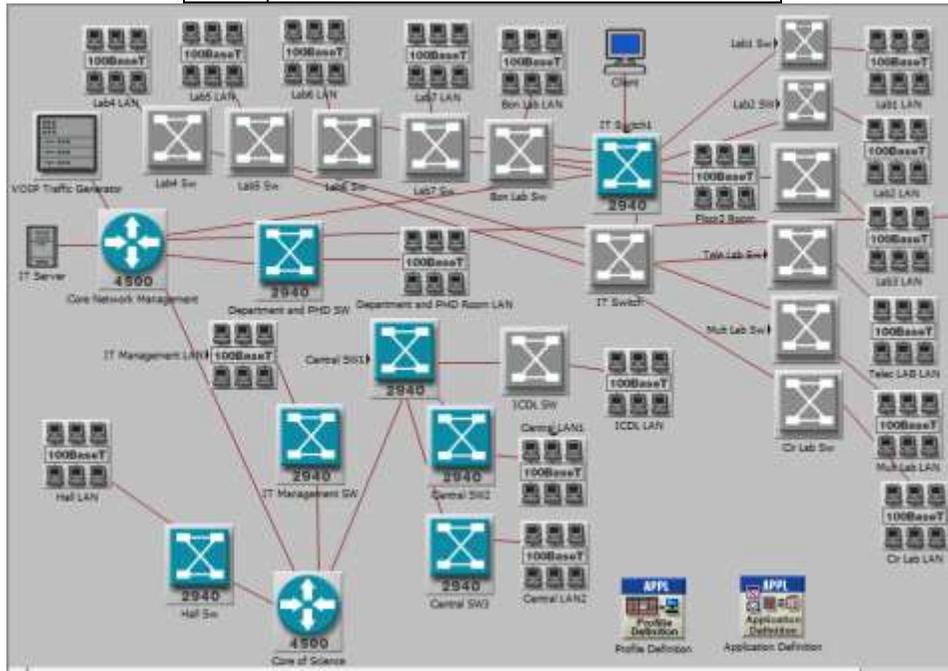
في هذا السيناريو سوف يتم تقييم أداء جميع خوارزميات ترميز الكلام المدروسة باستخدام عقدة توليد حمل الخلفية وذلك في نموذج شبكة كلية الهندسة المعلوماتية بجامعة البعث التي تم توصيفها سابقاً بشكل مفصل سابقاً في الدراسة [1] والدراسة [24] والدراسة [4]. حيث أن شبكة كلية الهندسة المعلوماتية بجامعة البعث تتوزع على ثلاثة طوابق في الطابق الأول تتوضع المكاتب الإدارية (العميد - سكرتاريا العميد - نواب العميد - محاسب

الرواتب - رئيس الدائرة - الذاتية - شؤون الطلاب - الديوان - الامتحانات - قاعة
السمنار - التصوير - معتمد الرسوم) بالإضافة إلى المخبر المركزي الذي يحتوي على
شبكة مكونة من 100 جهاز حاسوب ومخبر علوم الحاسب والقاعات حيث أن جميع
تجهيزات هذا الطابق تتصل شبكياً بالمبدلة الرئيسية في كلية العلوم التي تتوضع في الطابق
الأرضي لكلية العلوم والتي تتصل بدورها بالمبدلة الرئيسية الأخرى الموجودة في غرفة إدارة
الشبكة في الطابق الثاني. أما بالنسبة للطابق الثاني فيحتوي على بعض الغرف الإدارية
(المكتبة - المخبرين - مراقب الدوام - الدراسات العليا) والمخابر (1-2-3- الوسائط
المتعددة - الاتصالات - الدارات) التي تتصل جميعها بالمبدلتين IT_Switch و
IT_Switch1 الموجودتين في نفس الطابق والتي تتصل احدهما بشكل مباشر مع
المبدلة الرئيسية في غرفة إدارة الشبكة في نفس الطابق، وفي الطرف الآخر يوجد بعض
الغرف الإدارية التي تخص أعضاء الهيئة التدريسية وغرفة أعضاء الهيئة الفنية والأقسام
والسكرتارية الخاصة بهم وجميعها تتصل بالمبدلة Department and PHD SW
التي تتصل بدورها بالمبدلة الرئيسية في غرفة إدارة الشبكة. أما الطابق الثالث يحتوي على
المخابر (البنيان - 4 - 5 - 6 - 7) والتي تتصل جميعها بالمبدلتين IT_Switch
وIT_Switch1 الموجودتين في الطابق الثاني. يبين الشكل (8) الطوبولوجيا الشبكية
لكلية الهندسة المعلوماتية بجامعة البعث. كما يجمع الجدول (6) كافة التجهيزات الشبكية
الخاصة بكلية الهندسة المعلوماتية. حيث تم استخدام المكون BaseT_LAN100
الموجود ضمن المحاكى أوبنت للتعبير عن الشبكات الداخلية للمكاتب الإدارية والمخابر
والقاعات وغيرها بحيث تم ضبط عدد الأجهزة ضمنها باستخدام الخاصية (Number of
Workstations). كما تم تعريف خمسة أنواع من الحمل في هذه الشبكة كما هو مبين
في الجدول (7)، وتم ضبط استخدام الأنواع الخمسة من الحمل في عقدة المخدم الخاصة
بالكلية والمتوضع في غرفة إدارة الشبكة من خلال ضبط قيمة الخاصية Supported
Services. بالنسبة لسرعة الكابلات فإن جميع سرع الكابلات المستخدمة في الشبكات
الداخلية الفرعية (داخل كل من المخابر والقاعات والمكاتب الإدارية والوصلات بين مبدلات
المخابر (الغير قابلة للإدارة) والمبدلات الرئيسية في الطوابق والوصلات بين المبدلة
الرئيسية في المخبر المركزي والمبدلات الأخرى داخله) هي 100 ميغابت في الثانية، أما

بالنسبة للكابلات التي تربط بين المبدلات الرئيسية (التي من النوع سيسكو 2940) في الطوابق والمبدلتين الرئيسيتين (من النوع سيسكو 4500) في كلية العلوم وفي إدارة الشبكة هي من النوع فايبر بسرعة 1000 ميغابت في الثانية.

الجدول (6): تجميع التجهيزات الشبكية الخاصة بكلية الهندسة المعلوماتية

العدد	التجهيز الشبكية
338	النقاط الشبكية
5	مبدلة ب 24 منفذ قابلة للإدارة
2	مبدلة ب 48 منفذ قابلة للإدارة
13	مبدلة ب 24 منفذ غير قابلة للإدارة
2	مبدلة شبكية مركزية من النوع سيسكو 4500
1	مخدم تطبيقات
325	أجهزة حواسيب
1	طابعة شبكية



الشكل (8): الطوبولوجيا الشبكية الداخلية لشبكة كلية الهندسة المعلوماتية بجامعة البعث
مع العقد الجديدة المضافة

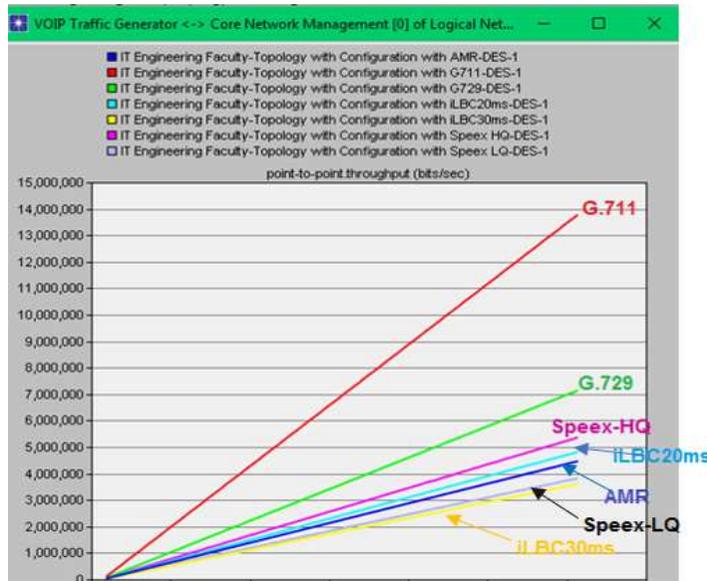
الجدول (7): التطبيقات المستخدمة في الشبكة

اسم التطبيق	نوع الحمل
نقل الملفات (FTP)	عالي
طباعة (Print)	متوسط
بريد الكتروني ((Email (POP 3 , SMTP))	ملفات نصية
قواعد بيانات (Database)	متوسط
تصفح مواقع الويب والتحميل (HTTPs)	عالي جداً
الحمل الصوتي (VOIP)	متوسط

تم تعريف اثنان من البروفایل الأول عام باسم (General Profile) يعمل بالتطبيقات الخمسة السابقة يتم استخدامه في أجهزة كل من المكاتب الإدارية وغرف أعضاء الهيئة التدريسية والفنية والأقسام ومخبر علوم الحاسب والمخبر المركزي، والثاني محدود باسم (Lab Profile) يعمل باثنان من التطبيقات فقط (نقل الملفات - تصفح الويب) تعمل بشكل متزامن مع بعضها ويتم استخدامه في أجهزة المخابر جميعها وفي القاعات. حيث أن كلاهما يبذلان بالعمل عند الثانية 100 من بدء المحاكاة وينتهيان عند انتهاء زمن المحاكاة. تم ضبط استخدام كل من البروفایل الأول والثاني في العقد BaseT_LAN100 من خلال ضبط قيمة الخاصية Supported Profile.

حيث إنه في البداية سوف يتم اختبار الأداء ضمن الشبكة الداخلية (عقدة توليد حمل الخلفية ومصب الحمل يتوضعان داخل الشبكة) ومن ثم اختبارها عند إجراء المكالمات خارج شبكة الجامعة لكي يظهر التأثير بشكل أكبر. حيث تم تنفيذ سيناريو منفصل لكل خوارزمية من خوارزميات الترميز وتم قياس قيمة الإنتاجية لإحدى الوصلات الشبكية. في الاختبار الأول تم وضع كل من عقدة توليد حمل الصوت الذي يعمل في الخلفية للترميز السبعة وعقدة الزبون الذي يشكل مصب للحمل في الشبكة الداخلية كما هو ظاهر في الشكل (8)، وتم ضبط اعدادات عقدة مولد حمل الخلفية لكل ترميز بمعدل إطار واحد لكل رزمة، وعدد

المحادثات هو 125 محادثة (عدد عشوائي) تبدأ عند بداية تشغيل المحاكاة وبفاصل زمني ثابت بينها وتم تحديد عنوان عقدة الزبون كمصّب للحمل. في عقدة الزبون يتم ضبط تردد RTCP بمعدل رزمة كل 150 رزمة RTP (تقريباً 3 ثوان بين كل رزمة RTCP وأخرى) وذلك للترميز AMR، ومن ثم تم تشغيل المحاكاة لفترة زمنية مقدارها 10 دقائق. من نتائج الشكل (9) الذي يعبر عن قيمة الإنتاجية لإحدى الوصلات الشبكية في حالة كل من خوارزميات الترميز المدروسة نلاحظ أن أكبر قيمة للإنتاجية (الأكثر استهلاكاً) هي للخوارزمية G.711 (تصل إلى 14 ميغابت في الثانية تقريباً) تليها الخوارزمية G.729 (تصل إلى 7 ميغابت في الثانية) ومن ثم قيم باقي الخوارزميات متقاربة نوعاً ما وأن أفضل قيمة تحققت مع الخوارزمية iLBC30ms تليها الخوارزمية Speex-LQ بشكل قريب عليها ومن ثم الخوارزمية AMR والخوارزمية iLBC20ms، من هذا الشكل نستنتج أن استخدام خوارزميات الترميز ذات معدل بتات الخرج المتغير أعطى أقل استهلاك لعرض الرزمة (بغض النظر عن الخوارزمية iLBC30ms التي تغلف حجماً كبيراً من البيانات الصوتية (مدة الاطار 30 ميلي ثانية) وبالتالي مساومة بشكل كبير في الجودة) مع المحافظة على جودة معتدلة نتيجة لتغير حجم الاطار وفقاً لشروط الشبكة الحالية.



الشكل (9): مقارنة قيمة الإنتاجية لكافة الخوارزميات المدروسة ضمن الشبكة الداخلية

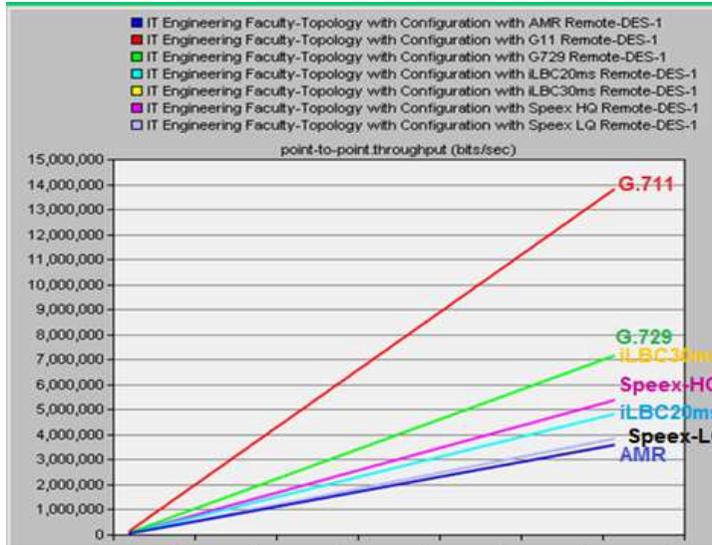
في المحاكى أوبنت واستخدامه في تقييم خوارزميات ترميز E-model تحقيق نموذج تقييم جودة الكلام الصوت في نموذج شبكة كلية الهندسة المعلوماتية بجامعة البعث

في الاختبار الثاني تم نقل عقدة الزبون إلى شبكة خارجية متصلة عبر الإنترنت (ولتوضيح مثلاً في الوزارة) بغرض دراسة تأثير الخوارزميات السبعة في عرض الرزمة للوصلات الخارجية عند إجراء المكالمات خارج الجامعة. الشكل (10) يبين التعديل على الشبكة المدروسة حيث إن الشبكة الفرعية IT Faculty تشكل الشبكة الداخلية للكلية التي تم توصيفها سابقاً، والوصلة بين موجه الجامعة والمكون IP Cloud من النوع PPP_DS3 تعمل بسرعة 44.736 ميغابت في الثانية أما الوصلة الثانية بين IP Cloud والطرف الموجه الخارجي فهي من النوع PPP_DS1 وتعمل بسرعة (1.54) ميغابت في الثانية وتم تطبيق تأخير في العقدة IP Cloud كتوزيع طبيعي خصائصه $N(0.175, 0.001)$ ، وبالإعدادات نفسها وزمن المحاكاة للاختبار السابق، وتم قياس الإنتاجية للوصلة الخارجية الأولى.



الشكل (10): الطوبولوجيا المدروسة بعد التعديل

الشكل (11) يظهر قيمة الإنتاجية للوصلة بين موجه الجامعة والـ IP Cloud حيث نلاحظ أن الخوارزمية AMR أعطت أقل قيمة للإنتاجية (الأفضل) تقريباً تصل إلى (3.5) ميغابت في الثانية) ومن ثم الخوارزمية Speex-LQ بقيمة قريبة جداً منها (3.9) ميغابت في الثانية) وأن اسوء قيمة للإنتاجية كانت للخوارزمية G.711 (13.9) ميغابت في الثانية) ومن ثم G.729 (7.2) ميغابت في الثانية). لا ننسى أن هذا الحمل يعبر عن المكالمات الصوتية فقط وكلية واحدة ولم يتم الأخذ بالحسبان حمل المكالمات الصوتية لباقي الكليات وبالإضافة إلى حمل باقي التطبيقات الشبكية على هذه الوصلة، لذا من المفيد تطبيق التراميز ذات معدل بتات الخرج المتغير بدلاً من التراميز الثابتة عند إجراء مكالمات بروتوكول نقل الصوت عبر الإنترنت خارج نطاق الشبكة الداخلية حيث نحصل على أقل استهلاك لعرض الرزمة مع المحافظة على جودة معتدلة نتيجةً لتغير حجم الإطار لملائمة شروط وحالة الشبكة. تم تكرار كل من السيناريوهات 10 مرات لكل ترميز ولم نلاحظ أي تأثير أو سلوك عشوائي.



الشكل (11): مقارنة قيمة الإنتاجية لكافة الخوارزميات المدروسة ضمن الشبكة الخارجية

10. ملخص النتائج والتطلعات المستقبلية:

أظهرت النتائج دقة التعديل على العقدة المضافة مقارنةً بالقيم النظرية لتراميز الصوت كما أشارت إلى إن تحديد الخوارزمية المستخدمة هو أمر معقد ويعتمد على السيناريو المدروس وعلى حالة الشبكة المتغيرة وتوصيفها وبالأخص سرعة الوصلات، كما أظهرت أن الترميز الأكثر اعتدالاً من منظور جميع القياسات هو الترميز المتغير AMR-NB حيث أنه حقق أقل قيمة للحمل المستلم مع قيمة متوسط رأي شخصي جيدة وبالتالي يعد الأكثر ملائمةً لتطبيقه في شبكة كلية الهندسة المعلوماتية بجامعة البعث من بين الترميز المدروسة.

حالياً نتطلع الى اضافة نماذج تقييم أخرى مثل نموذج الإدراك الحسي لتقييم جودة الكلام (ITU-T P.862)، (ITU-T P.563)، POLQA (ITU-T P.863)، وتقنيات تكميم الشعاع وغيرها. كما نتطلع الى تطوير العقد المضافة من خلال محاكاة خوارزميات ترميز أخرى ذات معدل بتات خرج متغيرة مثل EVCR و OPUS و SILK ومقارنتها مع الخوارزمية الأفضل AMR-NB التي حصلنا عليها في هذه الدراسة، مجالات أخرى يمكن أن تتم هذا البحث هي دراسة تأثير الخوارزميات المضافة على أداء العقد الشبكية مثل

في المحاكى أوبنت واستخدامه في تقييم خوارزميات ترميز E-model تحقيق نموذج تقييم جودة الكلام الصوت في نموذج شبكة كلية الهندسة المعلوماتية بجامعة البعث

المعالج والذاكرة العشوائية. كما يمكن إجراء دراسة لتطبيق بعض مفاهيم جودة الخدمة وتقنيات التعامل مع الأرتال وقياس أداء الشبكة بعد تطبيقها.

11. جدول المختصرات:

3GPP	Generation Partnership Project
AMR- NB	Adaptive Multi-Rate Compression Narrow Band
CNG	Comfort Noise Generation
CS-ACELP	Conjugate-Structure Algebraic-Code-Excited Linear-Prediction
DTX	Discontinuous Transmission
iLBC	Internet Low Bitrate Codec
LPC	linear-predictive coding
MOS	Mean Opinion Score
MOS	Mean Opinion Score
OPNET	Optimized Network Engineering Tool
PCM	Pulse Code Modulation
PESQ	Perceptual Evaluation of Speech Quality
PLC	Packet Loss Concealment
PSTN	Public Switched Telephone Network
RLR	Receiver Loudness Rating
RTCP	Real-Time Control Protocol
RTP	Real-Time Protocol
SLR	Sender Loudness Rating
VAD	Voice Activity Detection
VOIP	Voice over Internet Protocol

12. المراجع:

- [1] م. يمان غازي and د. ماهر عباس, "تحقيق خوارزمية ترميز الكلام AMR-NB ذات معدل بنات الخرج المتغير في المحاكى أوبنت واختبار أدائها على شبكة كلية الهندسة المعلوماتية بجامعة البعث", مجلة جامعة البعث, vol. 40, 2018.
- [2] Sheetal Jalendr and Shradha Verma, "A Detail Review on Voice over Internet Protocol (VoIP)," *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, May 2015.
- [3] Rahul Singh and Ritu Chauhan, "A Review Paper: Voice over Internet Protocol," *International Journal of Enhanced Research in Management & Computer Applications*, January 2014.
- [4] د.م يمان غازي, "تحقيق عقدة توليد حمل الكلام الحقيقي في المحاكى أوبنت وتقييمها باستخدام خوارزميات ترميز الصوت في شبكة كلية الهندسة المعلوماتية بجامعة البعث", مجلة جامعة البعث, 2021.

- [5] M. Karjalainen, "A new Auditory Model for the Evaluation of Sound Quality of Audio Systems," *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, pp. 608-611, 1985.
- [6] I.-T. R. G. 107, "The E-model, a Computational Model for Use in Transmission Planning," *International Telecommunication Union*, 2003.
- [7] Shahid Ali and Bilal Zahid Rana, "OPNET Analysis of VoIP over MPLS VPN with IP QoS," *Blekinge Institute of Technology - Sweden*, March 2011.
- [8] I. T. Union, "Transmission Impairments Due to Speech Processing," *ITU-T Recommendation G.113*, 2007.
- [9] Therdpong Daengsi and Pongpisit Wuttidittachotti, "QoE Modeling A Simplified E-model Enhancement Using Subjective MOS Estimation Model," *ICUFN, IEEE*, pp. 386 - 390, 2015.
- [10] J. D. Gibson, "Speech Coding Methods, Standards, and Applications". *Department of Electrical & Computer Engineering - University of California, Santa Barbara*.
- [11] W. C. CHU, SPEECH CODING ALGORITHMS Foundation and Evolution of Standardized Coders, San Jose, California - USA: John Wiley & Sons, Inc., 2003.
- [12] "Performance Analysis Of VOIP Codec's With QoS Parameters," *International Journal of Advance Foundation and Research in Computer (IJAFRC)*, pp. 96-103, May 2015.
- [13] "International Telecommunications Union," [Online]. Available: <http://www.itu.int/>. [Accessed Dec 2017].
- [14] I.-T. R. G. 711, "Pulse Code Modulation (PCM) of Voice Frequencies," in *International Telecommunication Union*, 2003.
- [15] I. T. Union, "Pulse Code Modulation (PCM) of Voice Frequencies. Appendix I: A High Quality Low-Complexity Algorithm for Packet Loss Concealment for G.711," *ITU-T Recommendation G.711*, 1999.
- [16] I. T. Union, "Pulse Code Modulation (PCM) of Voice Frequencies. Appendix II: A Comfort Noise Payload Definition for ITU-T G.711 Use in Packet-Based Multimedia Communication Systems," *ITU-T Recommendation G.711*, 2000.
- [17] I. T. Union, Coding of speech at 8 kbps using conjugate structure algebraic-codec-excited linear-prediction, ITU-T Recommendation G. 729, 1996.
- [18] I.-T. R. G.723.1, "Dual Rate Speech Coder for Multimedia Communication Transmitting at 5.3 and 6.3 kbit/s," in *International Telecommunication Union*, 1996.
- [19] A. D. H. A. R. H. W. K. J. L. S. Andersen, Internet Low Bit Rate Codec (iLBC), 2004.
- [20] 3GPP, "AMR Speech Codec; General Description," *TS 26.071*, 1999.
- [21] I. Johansson and T. Frankkila, "Bandwidth efficient AMR Operation for VoIP," *IEEE Proceedings of the Workshop on Speech Coding*, pp. 150-152, 2002.
- [22] J. M. Valin, "The Speex Codec Manual Version 1.2 Beta 3," 2007.
- [23] "The Xiph Open Source Community," [Online]. Available: <http://www.speex.org/>. [Accessed 2017].
- [24] د. ماهر عباس, "مقارنة خوارزميات ترميز الكلام ذات معدل بنات الخرج الثابت على شبكة كلية and م. يمان غازي", *مجلة جامعة البعث*, vol. 40, 2018. الهندسة المعلوماتية في جامعة البعث باستخدام المحاكى أوننت
- [25] "د. ماهر عباس, "تطوير وتحقيق نماذج محاكاة ذات تطبيقات خاصة لمحاكي الشبكات أوننت and م. يمان غازي", *جامعة البعث - أطروحة دكتوراه*, 2018.
- [26] I. T. Union, "Methods for Subjective Determination of Transmission Quality," *ITU-T*

Recommendation P.800, 1996.

- [27] A. Takahashi, H. Yoshino and N. Kitawaki, "Perceptual QoS Assessment Technologies for VoIP," *IEEE Communications Magazine*, pp. 28-34, 2004.
- [28] W. D. Voiers, "Diagnostic Acceptability Measure for Speech Communication Systems," *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, pp. 204-207, 1977.
- [29] H. Y. N. K. A. Takahashi, "Objective Assessment Methodology for Estimating Conversational Quality in VoIP," *IEEE Transaction on Audio, Speech and Language Processing*, pp. 1984-1993, 2006.
- [30] J. G. Beerends and J.A. Stemerdink, "A Perceptual Audio Quality Measure," *AES Convention*, 1992.
- [31] I. T. Union, "Objective Quality Measurement of Telephone-Band (300-3400Hz) Speech Codecs," *ITU-T Recommendation P.861*, 1998.
- [32] I. T. Union, "Artificial Voices," *ITU-T Recommendation P.50*, 1999.
- [33] M. Goudarzi, "Evaluation of Voice Quality in 3G Mobile Networks," *MASc thesis, School of Computing, Communications and Electronics, University of Plymouth*, 2008.
- [34] I. T. Union, "Perceptual Evaluation of Speech Quality (PESQ): An Objective Method for End-to-End Speech Quality Assessment of Narrow-Band Telephone Networks and Speech Codecs," *ITU-T Recommendation P.862*, 2001.
- [35] I. T. Union, "Single-Ended Method for Objective Speech Quality Assessment in Narrow-Band Telephony Applications," *ITU-T Recommendation P.563*, 2005.
- [36] I. T. Union, "Mean Opinion Score (MOS) Terminology," *ITU-T Recommendation P.800.1*, 2003.
- [37] Ch. Jin and R. Kubichek, "Vector Quantization Techniques for Output-Based Objective Speech-Quality," *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, pp. 491-494, 1996.
- [38] D. Picovici and A.E. Mahdi, "New Output-Based Perceptual Method for Predicting Subjective Quality of Speech," *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, pp. 633-636, 2004.
- [39] G. Chen and V. Parsa, "Nonintrusive Speech Quality Evaluation Using an Adaptive Neurofuzzy Inference System," *IEEE Signal Processing Letters*, pp. 403-406, 2005.
- [40] I. NetQoS, "VoIP: Do You See What I Am Saying? Managing VoIP Quality of Experience on Your Network," 2017 2008. [Online]. Available: http://www.netqos.com/SEO_promo/ebook/.
- [41] "OPNET official websit," [Online]. Available: <http://www.riverbed.com/products/performance-management-control/opnet.html>.
- [42] S. Siraj, A. K. Gupta and R. Badgujar, "Network Simulation Tools Survey," *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 1, no. 4, p. 10, 2012.
- [43] J. Pan and R. Jain, "A Survey of Network Simulation Tools: Current Status and Future Developments," *Project*, 2008.
- [44] A. S. Sethi and V. Y. Hnatyshin, *The Practical OPNET® User Guide for Computer Network Simulation*, CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business, 2013.
- [45] R. G. Cole and J. Rosenbluth, "Voice over IP Performance Monitoring," *ACM Computer Communication Review*, p. 9-24, 2001.

- [46] L. Sun and E. C. Ifeachor, "Voice Quality Prediction Models and their Applications in VoIP Networks," *IEEE Transactions on Multimedia*, pp. 809-820, 2006.

