

ESTUDIO DE LA RESPUESTA DEL MODELO E A LAS PÉRDIDAS DE PAQUETES EN RÁFAGAS

Lesbiel Pineda Sánchez¹, David Ernesto Ruiz Guirola¹, Carlos A. Rodríguez López²

Universidad Central de Las Villas, Carretera a Camajuaní km 51/2,
e-mail: {drguirola, lpineda}@uclv.cu¹, crodrigz@uclv.edu.cu²:

RESUMEN

Algunas investigaciones recientes han propuesto modificaciones al Modelo E para mejorar la respuesta de este al efecto de las pérdidas en ráfagas. Sin embargo, los estudios realizados han sido muy específicos y breves y por lo tanto insuficientes para generalizar los resultados. En este proyecto se realiza una extensión de las investigaciones precedentes empleando los códecs AMR-WB y G.729. El proceso de evaluación usa PESQ como modelo de referencia. A partir de los resultados obtenidos se proponen ajustes al esquema de pérdidas exponenciales. Los ajustes propuestos permiten reducir a la mitad el error cuadrático medio con respecto al modelo de referencia sin afectar el coeficiente de correlación.

PALABRAS CLAVES: Modelo E, PESQ, AMR-WB, G.729.

STUDY OF ANSWER OF E MODEL TO PACKET LOSS BURSTINESS

ABSTRACT

Some recent investigations have proposed modifications to the E Model to improve performance regarding packet loss in burst errors. However, the studies carried out have been very specific and briefly conducted, therefore insufficient to generalize results. In this project it is carried out an extension of previous research which reported the use of codecs AMR-WB and G.729. The evaluation process uses PESQ as referenced model. From the obtained results, adjustments are proposed for exponential models of packet losses. Proposed adjustments allow to half the mean square error with respect to reference models without affecting the correlation coefficient.

KEY WORDS: E Model, PESQ, AMR-WB, G.729.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad una cantidad importante de las comunicaciones telefónicas se realizan utilizando las redes IP como soporte; por lo que la transmisión de voz sobre redes IP (VoIP) tiene un rol cada vez más importante y un uso más difundido. La VoIP tiene problemas propios de las redes de conmutación de paquetes, como son: las pérdidas de paquetes, los retardos y la variación en los retardos o jitter; siendo todos estos elementos que impactan

negativamente en la calidad de la experiencia percibida por los usuarios (QoE). Para utilizar la tecnología de VoIP de forma masiva y comercial es necesario ofrecer un servicio de voz óptimo, que esté por lo menos al nivel de la comunicación telefónica de voz tradicional o con una calidad superior.

Para medir la calidad de los servicios de voz percibida por los usuarios se han desarrollado varios métodos. Dentro de los modelos diseñados para medir la calidad de los servicios se encuentra el Modelo E propuesto por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) en su recomendación G.107 [1]. Este es un modelo computacional capaz de estimar la calidad de la voz percibida por los usuarios a través del Factor R, una métrica que posee una equivalencia para determinar su valor en la escala de evaluación MOS (Mean Opinion Score). Este algoritmo se apoya en un gran número de parámetros que están destinados a incluir todos los fenómenos y degradaciones presentes en un canal de comunicación. Frecuentemente el Modelo E se emplea bajo el supuesto de que las pérdidas de paquetes ocurren de forma aleatoria. Esta aproximación no es válida para la mayoría de las aplicaciones reales. Por otra parte, existe inconformidad con la forma en que el Modelo E [2], [3] mide el efecto de las pérdidas en ráfagas. Debido a esto, algunos artículos [4], [5] proponen modificaciones a este modelo con la finalidad de incluir el efecto de las pérdidas de paquetes en ráfagas. No obstante, los estudios presentados no se encuentran suficientemente validados.

En este proyecto se realiza una extensión de las investigaciones precedentes que analizan el impacto de las pérdidas de paquetes en ráfagas en el Modelo E al estimar la calidad de los servicios de voz percibida por los usuarios empleando los códecs AMR-WB y G.729. A partir de los resultados obtenidos se proponen ajustes al modelo existente empleando PESQ como modelo de referencia. En estos aspectos es donde este trabajo pretende realizar su mayor contribución.

2. modelo e

Pérdidas de Paquetes

La VoIP tiene problemas propios de las redes de conmutación de paquetes, como son: las pérdidas de paquetes, los retardos y la variación en los retardos o jitter. La información al ser fragmentada y viajar de forma independiente por la red puede atravesar en su camino hacia el destino diferentes equipos, debido a esto. La pérdida de un paquete en la transmisión representa la pérdida de un fonema en el proceso de reproducción de la señal de voz. En consecuencia, la pérdida de paquetes de voz es una pérdida de calidad de la señal como es explicado en [6]. Según [7], en los sistemas reales la naturaleza de las pérdidas de paquetes no es aleatoria, sino que existe correspondencia, secuencialidad y ráfagas. Este representa uno de los factores que más degradan el rendimiento de las aplicaciones basadas en redes IP, afectando notablemente la calidad percibida por el usuario, la QoE.

Modelo E

El Modelo E ha probado ser útil como una herramienta para evaluar los efectos combinados de las variaciones de parámetros de transmisión que afectan la calidad de una conversación en un canal telefónico de 3.1 KHz. La salida primaria de este modelo es el factor de evaluación R, que puede ser transformado para dar estimaciones de la Calificación Media de

Opinión (Mean Opinion Score, MOS). Este modelo posee un factor de correlación respecto a pruebas subjetivas de la misma situación del 80% [8], [9].

El resultado de cualquier cálculo con el Modelo E en un primer paso es el factor de evaluación R, que combina todos los parámetros de transmisión relevantes para la conexión considerada. La ecuación del factor R [1] es (1):

$$R = Ro - Is - Id - Ie-eff + A \quad (1)$$

Donde:

Ro: Representa la relación básica de señal a ruido.

Is: Combinación de todas las degradaciones que ocurren con la señal de voz.

Id: Degradaciones causadas por la demora.

Ie-eff: Factor de deterioro efectivo del equipamiento.

A: Factor de Ventaja.

El término *Ro* y los valores *Is* e *Id* son subdivididos en otros valores de deterioros específicos, todos estos valores y las expresiones para calcular estos factores se encuentran definidos en [1]. El factor de evaluación R puede estar dentro del rango de 0 a 100, donde R = 0 representa una calidad extremadamente mala y R = 100 representa una calidad muy alta. El Modelo E puede proveer una estimación estadística de mediciones de calidad si es usado y registrado sistemáticamente.

Este modelo se apoya en un gran número de factores y parámetros que tiene como finalidad tener en cuenta todos los fenómenos y degradaciones que ocurren en un canal de comunicación. Mediante las ecuaciones presentadas en [1] y empleando valores estándares para algunos fenómenos, valores que brinda la Recomendación G.113 [10] y la Recomendación G.107 [1], es posible simular las condiciones de la comunicación de la manera más aproximada a la realidad y obtener resultados los más exactos posible. Una guía para la interpretación del factor R calculado con propósitos de planificación se ofrece a continuación en la Tabla 1, esta tabla muestra los valores equivalentes de estimados para la conversación.

Tabla 1: Interpretación del factor R y conversión del mismo a la escala MOS [1].

Valor de R (Límite Inferior)	MOSCQE (Límite Inferior)	Satisfacción del Usuario
90	4.34	Muy Satisfecho
80	4.03	Satisfecho
70	3.60	Algunos Usuarios Insatisfechos
60	3.10	Muchos Usuarios Insatisfechos
50	2.58	Casi todos los usuarios

		insatisfechos
--	--	---------------

La relación señal a ruido básica o R_0 , definida en [1], puede ser calculada empleando la Tabla 3 de la Recomendación G.107 que ofrece valores por defecto y rangos permitidos para los parámetros del Modelo E. Utilizando esos valores el resultado es obtenido es 93.2, como se expresa en dicha Recomendación, esos valores son seleccionados para todos los parámetros, salvo para los que sean de interés para el experimento. El resultado obtenido es una simplificación de la expresión (1) y se muestra en la expresión (2). Es necesario destacar que 93.2 es el resultado que se obtiene empleando códecs de banda estrecha, según [11] al emplear códecs de banda ancha esta expresión se modifica obteniéndose como valor 129.

$$R = 93.2 - I_d - I_{e-eff} \quad (2)$$

Donde el factor de deterioro efectivo (I_{e-eff}) incluye el factor de degradación de equipamiento (I_e), probabilidad de pérdida de paquetes aleatoria (P_{pl}), factor de robustez (B_{pl}) y nivel de ráfagas ($BurstR$). I_{e-eff} puede calcularse a partir de la siguiente expresión (3) definida en [1].

$$I_{e-eff} = I_e + (95 - I_e) \cdot \frac{P_{pl}}{\frac{P_{pl}}{BurstR} + B_{pl}} \quad (3)$$

Los factores I_e necesarios para realizar los cálculos para determinar la estimación de la calidad percibida por los usuarios a partir del Modelo E se encuentran especificados en tablas. Los valores para el códec AMR-WB se encuentra especificado en la Tabla V de [12] y para el códec G.729 se encuentra especificado en [10].

Esquemas de pérdidas de paquetes en ráfagas

Uno de los parámetros que tiene en cuenta el Modelo E para estimar la calidad de voz percibida por los usuarios es la probabilidad aleatoria de pérdidas de paquetes, parámetro que como se mencionó anteriormente no es propio de las redes reales. Debido a esta limitante presente en dicho modelo, es necesario incluir parámetros que tengan en consideración este comportamiento de las redes reales. En [5] se investiga este fenómeno y propone alternativas para lograr que los efectos de las pérdidas de paquetes en ráfagas sean tenidas en consideración para estimar la calidad del servicio que es percibida por los usuarios en aplicaciones de VoIP.

En el Modelo E basado en el Modelo de Pérdidas de Paquetes en Ráfagas (PLBM) [5] se introducen nuevos parámetros como B , que es directamente derivado del propio modelo de pérdida de paquete donde refleja las características de las pérdidas de paquetes. Se diseña para ser una métrica basada en las distancias entre los paquetes perdidos. El valor de B es calculado para una sucesión particular de paquetes que puede escogerse basado en los segmentos del habla activos o basados en la duración de tiempo. El modelo de pérdidas de paquetes P es representación por una secuencia binaria como $[P_1, P_2, \dots, P_N]$, cuando $P_n=1$ significa pérdida de paquetes y $P_n=0$ significa que los paquetes fueron recibidos correctamente.

El cálculo de B empieza con el primer paquete y continúa hasta el último paquete en la sucesión. En cada paso, es examinado si el paquete se recibe correctamente o se pierde. Si el paquete n está perdido, es decir $P_n=1$, el modelo de pérdida de paquete de los paquetes previos es analizado en una ventana con un tamaño predefinido N_{\max} y en término correspondiente B_n es calculado a partir de la ecuación (4) [5].

$$B = \frac{\sum_{n=0}^{n-1} B_n}{\sum_{n=0}^{n-1} P_n} = \frac{\text{total_de_ráfagas_medidas}}{\text{total_de_paquetes_perdidos}} \quad (4)$$

En [5] se proponen dos modelos para tener en cuenta las relaciones entre los modelos de ráfagas y la distancia entre dos paquetes perdidos: el Esquema de Dependencia Exponencial (ED) y el Esquema de Dependencia Lineal. En el primer caso, las ráfagas decrecen geométricamente con el aumento de la distancia entre dos pérdidas de paquetes, este modelo puede escribirse como se muestra en la expresión (5). Para el caso LD, las ráfagas disminuyen de manera lineal con el incremento de la distancia entre dos paquetes perdidos, en la Fig. 1. se muestra la influencia de la distancia en las pérdidas en ráfagas, la ecuación que describe el modelo LD se muestra en la expresión (6):

$$B_{n,ed} = \sum_{i=i}^{N_{\max}} \frac{P_{n-i}}{2^{(i-1)}} \quad (5)$$

$$B_{n,ld} = \sum_{i=i}^{N_{\max}} \frac{P_{n-i}}{2} \quad (6)$$

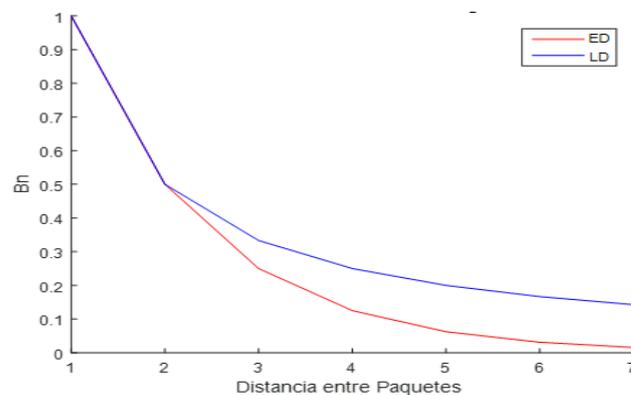


Figura 1: Influencia de la distancia en las pérdidas en ráfagas.

El Equivalente Aleatorio de Pérdidas de Paquetes (ERPL o Pple) está diseñado para ser usado directamente sobre el Modelo-E, reemplazando la Probabilidad de Pérdida de Paquete (Ppl). Este parámetro combina la actual razón de pérdidas de paquetes y las mediciones de ráfagas. Para el modelo de pérdida de paquetes dado $P = [P_1, P_2, P_3, \dots, P_N]$, Pple puede escribirse (7):

$$Pple = Ppl(\%) + \sum_{n=0}^{N-1} \frac{An \cdot Bn}{100} \quad (7)$$

Donde An [5] es un parámetro de peso que se calcula a partir de la siguiente expresión (8):

$$An = \begin{cases} 1, Ppl \leq 4\% \\ -0.5, Ppl > 4\% \end{cases} \quad (8)$$

El parámetro Equivalente Aleatorio de Pérdidas de Paquetes (Pple) sustituirá a la Probabilidad Aleatoria de Pérdidas de Paquetes (Ppl) e incluirá el comportamiento de las pérdidas de paquetes en ráfagas dentro del Modelo E, combinando la actual razón de pérdidas de paquetes y las mediciones de ráfagas, por lo que se modifica la expresión (3) para el cálculo del factor de deterioro efectivo, como se muestra en la expresión (9).

$$Ie-eff = Ie + (95 - Ie) \cdot \frac{Pple}{\frac{Pple}{BurstR} + Bpl} \quad (9)$$

3. Diseño de los experimentos

Modelación de las Pérdidas de Paquetes

Para simular las secuencias de pérdidas de paquetes será empleado el Modelo de Markov de 2 Estados ampliamente tratado en [14]. Se ha demostrado que Cadenas de Markov con más estados son capaces de obtener una mayor precisión en algunos casos. Sin embargo, con 2 estados se obtiene el mejor compromiso entre complejidad y exactitud; y ha mostrado ser capaz de capturar la correlación potencial entre pérdidas consecutivas tanto para ambientes inalámbricos como para Internet. En la Fig. 2. se muestra el diagrama de estados de este modelo, donde el estado 0 (Good) representa que todos los paquetes arribaron correctamente por lo que no ocurren pérdidas, mientras que en el estado 1 (Bad) se pierde un paquete. El modelo es descrito empleando dos parámetros: p (probabilidad de transición del estado 0 al estado 1) y q (probabilidad de transición del estado 1 al estado 0). Para cuantificar las pérdidas en ráfagas se introduce el factor BurstR (Burst Ratio o Razón de Ráfagas) cuya expresión es mostrada en (10):

$$BurstR = \frac{1}{p + q} = \frac{(1 - pl)}{(1 - pc)} \quad (10)$$

El factor BurstR puede ser interpretado como la relación entre el número medio de paquetes perdidos consecutivamente con respecto al número medio de paquetes perdidos para una distribución de pérdidas de paquetes aleatoria. Cuando BurstR >1, indica que las pérdidas son en ráfagas, mientras que BurstR=1 indica que las pérdidas de paquetes son aleatorias, a medida que aumenta el valor de este factor más pesadas son las ráfagas. Cuando BurstR <1 las pérdidas son espaciadas.

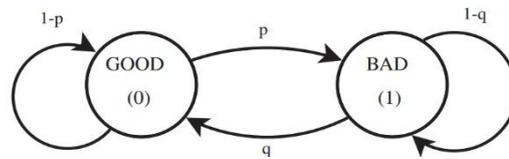


Figura 2: Diagrama de estados del Modelo de Markov (2-MC).

Para modificar la estructura binaria de los archivos codificados y marcar los paquetes como perdidos se emplean los procedimientos y funciones en Matlab descritas en [15]. Para analizar el efecto de las pérdidas en ráfagas se emplean diferentes probabilidades de pérdidas de paquetes y diferentes niveles de ráfagas, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Niveles de Ráfagas y Probabilidades de Pérdidas de Paquetes.

Ppl	BurstR =2		Ppl	BurstR =4		Ppl	BurstR =8	
	q	p		q	p		q	p
0.5	0.498	0.00	1.0	0.248	0.00	1.0	0.248	0.00
%		2	%		2	%		2
1.5	0.492	0.00	3.0	0.242	0.00	3.0	0.242	0.00
%		8	%		8	%		8
2%	0.49	0.01	4%	0.24	0.01	4%	0.24	0.01

Características de los perfiles de audio

Los archivos de voz utilizados por el códec AWR-WB consisten en palabras de 16 bits, donde cada palabra contiene una muestra de voz alineada a la izquierda de 14 bits. El orden de bytes depende de la arquitectura huésped. Tanto el programa codificador como el decodificador procesan tramas de 320 muestras [16]. Estos ficheros se encuentran disponibles en la Recomendación G.722.2 – Anexo D, de la cual se seleccionaron las muestras de audio T06.INP, T08.INP y T19.INP. Para la codificación de estas señales fue empleado el software coder.exe disponible en [16].

Las muestras procesadas con el códec G.729 se encuentran disponibles en la recomendación UIT P.501 [17] Anexo B.3, la cual cuenta de cuatro muestras *.wav de audio (Male 1, Male 2, Female 1 y Female 2) disponibles en varios idiomas, fueron seleccionadas para los experimentos las muestras en español. Para la codificación y decodificación de estas señales fue utilizado el software cp_g729_encoder.exe disponible en [18].

Elección de PESQ para validar los resultados

PESQ [19] es el modelo elegido para ser empleado como referencia para analizar la influencia de las pérdidas de paquetes en ráfagas en el Modelo E. Esto es debido a que es un modelo ampliamente estudiado como modelo para estimar QoE, posee un nivel de correlación respecto a pruebas subjetivas de la misma situación de 0.935 [20] y los resultados obtenidos con este modelo han sido comparados en muchas investigaciones [5], [21], [22] con los resultados que se obtienen mediante el Modelo E. Este es un modelo de referencia completa, objetivo e intrusivo, porque compara la señal de referencia original con la señal degradada de salida. Su resultado es un valor estimado de MOS, este modelo es adecuado para realizar análisis de pérdidas de paquetes.

4. resultados de los experimentos

AMR-WB

En la Fig. 3. se muestran en gráficas los resultados correspondientes de realizar los experimentos y simulaciones para degradar las muestras de audio codificadas con AMR-WB.

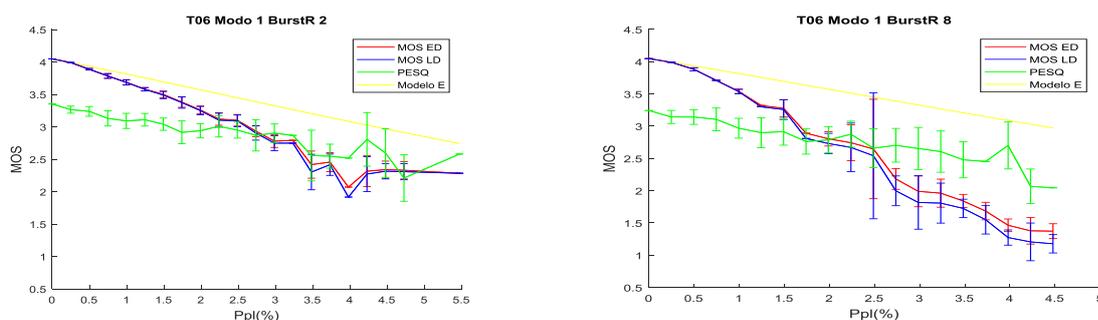


Figura 3: Resultados AMR-WB.

En color amarillo se representa el valor MOS obtenido de aplicar el Modelo E sin modificaciones, en azul y rojo se muestran los resultados en valor de escala MOS al emplear los esquemas ED y LD respectivamente. En verde están los resultados de las evaluaciones realizadas con PESQ. Los intervalos que se muestran en la figura corresponden con un nivel de confianza del 95%.

Se puede observar en la Fig. 3. que los valores MOS promedio correspondientes a los esquemas ED y LD superan a los valores obtenidos con PESQ siempre que la probabilidad de pérdida de paquetes sea inferior a 2.8%. Para valores superiores a 2.8% los resultados de dichos esquemas se quedan por debajo de las evaluaciones obtenidas con PESQ, Como se verá más adelante, este valor de inflexión se modifica atendiendo al tipo de señal y al factor de ráfaga.

G.729

En la Fig. 4. se muestran en gráficas los resultados correspondientes de realizar los experimentos y simulaciones para las muestras de audio codificadas con el códec G.729. Como promedio, en las simulaciones realizadas los valores de los esquemas ED y LD para probabilidades de pérdidas de paquetes menores al 1.978% ofrece valores de escala MOS superiores a los obtenidos de evaluar la misma situación con PESQ. Para probabilidades superiores los resultados de dichos esquemas se quedan por debajo de las evaluaciones obtenidas con PESQ. Los Esquemas ED y LD ofrecen valores MOS idénticos para probabilidades inferiores al 1% y de ahí en adelante ofrecen resultados levemente diferentes, siendo siempre LD el esquema que ofrece resultados MOS inferiores a los que se obtienen de emplear ED. Utilizar indistintamente un esquema u otro no se solucionan las diferencias que se aprecian respecto a PESQ.

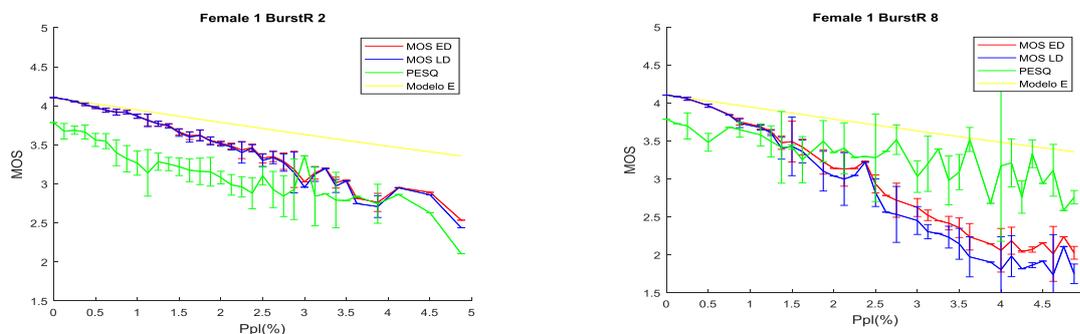


Figura 4: Resultados G.729.

5. Modificaciones al modelo e

Una observación de los resultados obtenidos en las simulaciones de los esquemas ED y LD permite concluir que ambos arrojan resultados que se corresponden mejor a los obtenidos con PESQ que los correspondientes al Modelo E original. En esta sección se proponen cambios en estos esquemas para que sean incluidos en el Modelo E en lo referente a las pérdidas de paquetes en ráfagas. De los experimentos y simulaciones descritos anteriormente se seleccionaron los parámetros en concreto que debían ser modificados.

AMR-WB

Cuando se emplea el códec AMR-WB, se determinó que para probabilidades de pérdidas de paquetes superiores a 2.8% se debe cambiar el tamaño de la ventana de paquetes que se analiza de 8 a 4 paquetes y que el factor An debe modificarse al valor de -0.2. Utilizar el esquema ED o LD no supone cambios significativos, por lo que estas modificaciones serán realizadas sobre la base del esquema ED. Para probabilidades de pérdidas de paquetes menores a 2.8% no se realizarán modificaciones a dicho esquema.

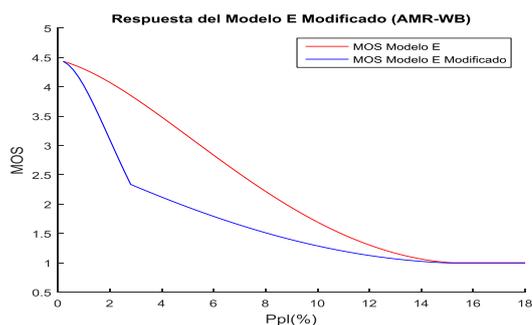


Figura 5: Comportamiento del Modelo E y del Modelo E Modificado (AMR-WB).

G.729

Para obtener con el Modelo E y utilizando el códec G.729 valores de MOS más acordes a los que se obtienen con PESQ al evaluar la misma situación. Es necesario que para probabilidades de pérdidas de paquetes superiores a 1.97% se debe cambiar el tamaño de la ventana de paquetes. Esto es analizado de 8 a 4 paquetes, el factor An debe modificarse al valor de 0.13. Igual que se explicó anteriormente emplear el esquema ED o LD no representa variaciones significativas. Con esta base, estas modificaciones se realizarán sobre la base del esquema ED y para probabilidades inferiores a la mencionada no se realizarán cambios.

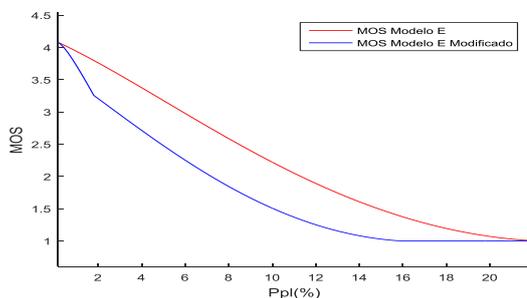


Figura 6: Comportamiento del Modelo E y del Modelo E Modificado (G.729).

Resultados de las Modificaciones.

El resumen de lo obtenido en los experimentos realizados para corregir las diferencias que se aprecian en los resultados de evaluar la misma situación con el Modelo E y con PESQ se ofrecen en la Fig. 7. y Fig. 8. Estas gráficas describen el comportamiento promedio de las modificaciones realizadas; todos los resultados se encuentran disponibles en los Anexos II y Anexo III de [15], para los códecs AMR-WB y G.729 respectivamente.

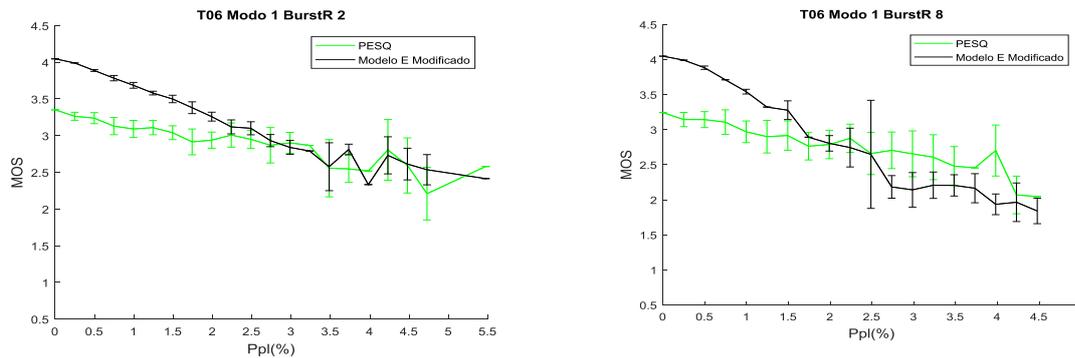


Figura 7: Resultados de comparar Modelo E Modificado respecto a PESQ (AMR-WB).

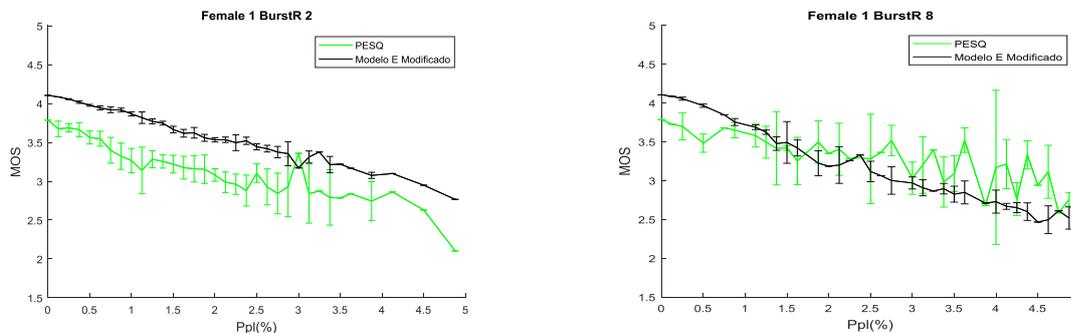


Figura 8: Resultados de comparar Modelo E Modificado respecto a PESQ (G.729).

Para cuantificar la mejoría que se obtiene al aplicar las modificaciones propuestas fue necesario realizar un análisis estadístico de los resultados obtenidos. Se aplicó la métrica Error Cuadrático Medio para comprobar el error que se obtiene de comparar los resultados que ofrece el Modelo E con los que ofrece PESQ y los que se obtiene de evaluar mediante PESQ y con el Modelo E Modificado, siempre analizando la misma situación para cada caso. Como se puede apreciar en la Fig. 9, el Error Cuadrático Medio que se obtiene es menor cuando se emplea el Modelo E Modificado que cuando se emplea el Modelo E siendo comparando con PESQ y analizando el impacto de las pérdidas de paquetes en ráfagas. Aplicando las modificaciones propuestas el error cuadrático medio disminuye aproximadamente a la mitad. Conjuntamente con el error cuadrático medio también fue analizado el Factor de Correlación existente de los resultados antes y después de aplicar las modificaciones propuestas y comparándolos con los resultados que ofrece PESQ de evaluar la misma situación.

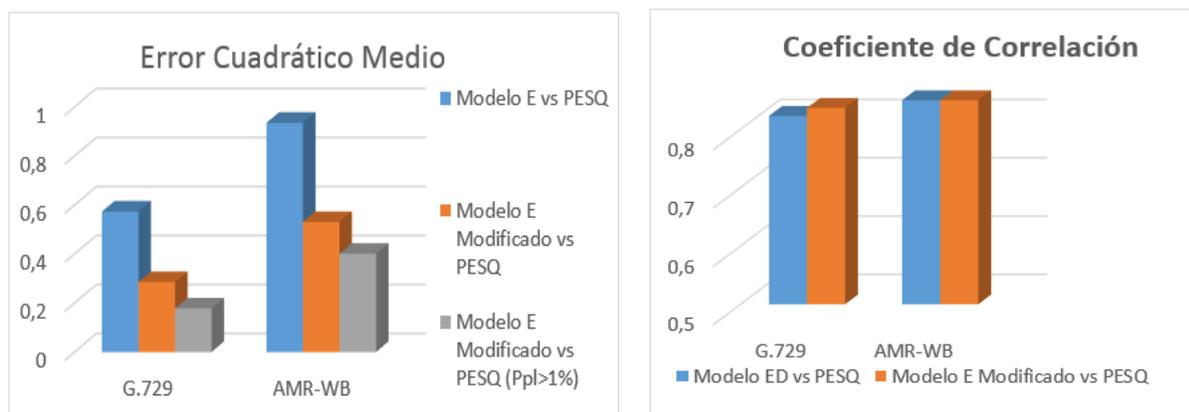


Figura 9: Análisis Estadísticos de los resultados.

CONCLUSIONES

El comportamiento de las pérdidas de paquetes en ráfagas está débilmente considerado en el Modelo E, lo que afecta la precisión de sus resultados. Con los experimentos realizados se pudo comprobar que la evaluación de la calidad percibida mediante el Modelo E se ajusta a los resultados obtenidos en PESQ cuando se aplican las modificaciones propuestas en [5]. Es necesario destacar que a partir de ciertos valores de probabilidades, específicos para cada códecs, los resultados obtenidos con estos esquemas disminuyen notablemente comparándolos respecto a PESQ.

Un estudio exhaustivo del parámetro A_n y el tamaño de la ventana de paquetes, el cual se analiza a partir de ciertos valores de P_{pl} , permitió disminuir el error cuadrático medio aproximadamente a la mitad sin degradar el factor de correlación comparando los resultados antes y después de aplicar las modificaciones propuestas respecto a PESQ. De analizar los resultados obtenidos se demuestra que utilizando los esquemas ED y LD no se puede generalizar las modificaciones para el Modelo E, se deben realizar modificaciones específicas en dependencia del códecs empleado.

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a todos los que de una forma u otra aportaron su granito a la realización de este trabajo, muchas gracias por todo.

REFERENCIAS

- [1] ITU-T Recommendation, «G.107, “El modelo E, un modelo informático para su utilización en planificación de la transmisión”», Int. Telecommun. Union CH-Geneva, jun. 2015.

- [2] A. Botta y A. Pescapé, «IP packet interleaving for UDP bursty losses», *J. Syst. Softw.*, vol. 109, pp. 177-191, 2015.
- [3] M. Soloducha y A. Raake, «Speech quality of VoIP: bursty packet loss revisited», en *Speech Communication*; 11. ITG Symposium; Proceedings of, 2014, pp. 1-4.
- [4] A. Raake, «Short- and Long-Term Packet Loss Behavior: Towards Speech Quality Prediction for Arbitrary Loss Distributions», *IEEE Trans. Audio Speech Lang. Process.*, vol. 14, n.o 6, pp. 1957-1968, Nov. 2006.
- [5] H. Zhang, L. Xian, J. Bun, P. Flynn, y C. Shim, *Packet loss business and enhancement to the E-Model*, vol. 0. 2005.
- [6] S. Moreno Urrea, «Estudio experimental de calidad de servicio de voz sobre IP: comparativa subjetiva versus objetiva», 2012.
- [7] C. Hone, H. Karl, y A. Wolisz, «A perceptual quality model for adaptive VoIP applications», en *Proceedings of SPECTS*, 2004, vol. 4.
- [8] R. Sanchez-Iborra, M.-D. Cano, y J. Garcia-Haro, «Revisiting VoIP QoE assessment methods: are they suitable for VoLTE?», *Netw. Protoc. Algorithms*, vol. 8, n.o 2, pp. 39-57, 2016.
- [9] E. Liotou, D. Tsolkas, N. Passas, y L. Merakos, «Quality of experience management in mobile cellular networks: key issues and design challenges», *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, n.o 7, pp. 145-153, 2015.
- [10] ITU-T Recommendation, «G.113,"Transmission impairments due to speech processing."», *Int. Telecommun. Union CH-Geneva*, vol. 1, 2009.
- [11] D.-H. Nguyen y H. Nguyen, «A dynamic rate adaptation algorithm using WB E-model for voice traffic over LTE network», en *Wireless Days (WD)*, 2016, 2016, pp. 1-6.
- [12] S. Moller, A. Raake, N. Kitawaki, A. Takahashi, y M. Waltermann, «Impairment factor framework for wide-band speech codecs», *IEEE Trans. Audio Speech Lang. Process.*, vol. 14, n.o 6, pp. 1969-1976, 2006.
- [13] A. Raja, R. M. A. Azad, C. Flanagan, y C. Ryan, «A methodology for deriving VoIP equipment impairment factors for a mixed NB/WB context», *IEEE Trans. Multimed.*, vol. 10, n.o 6, pp. 1046-1058, 2008.
- [14] M. Ellis, D. P. Pezaros, T. Kypraios, y C. Perkins, «A two-level Markov model for packet loss in UDP/IP-based real-time video applications targeting residential users», *Comput. Netw.*, vol. 70, pp. 384-399, sep. 2014.
- [15] L. Pineda Sánchez, «Estudio de la respuesta del Modelo E a las pérdidas de paquetes en ráfagas.», PhD Thesis, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones, 2018.
- [16] I. Rec, «G. 722.2», *Wideband Coding Speech Around*, vol. 16, p. 19, 2003.
- [17] Rec, ITUT, «P.501 Test signals for use in telephony», *Int. Telecommun. Union CH-Geneva*, mar. 2017.
- [18] «CodecPro - optimized codec solutions for standard speech and audio codecs», 15-may-2018. [En línea]. Disponible en: <http://www.codecpro.com/>. [Accedido: 15-may-2018].
- [19] ITU-T Recommendation, «Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs», *Rec ITU-T P862*, 2001.
- [20] H.-J. Lee y J.-H. Kim, «A handover mechanism considering the abstracted R-factor», *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 63, n.o 6, pp. 2687-2696, 2014.

- [21] S. Mller y A. Raake, *Quality of Experience: Advanced Concepts, Applications and Methods*. Springer Publishing Company, Incorporated, 2016.
- [22] Y. Han, J. Fitzpatrick, L. Murphy, y J. Dunne, «Accuracy analysis on call quality assessments in voice over IP», en *Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC), 2013 6th Joint IFIP*, 2013, pp. 1-7.

SOBRE LOS AUTORES

Lesbiel Pineda Sánchez, Graduado de Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica en la Universidad Central de Las Villas (UCLV) en 2018.

David Ernesto Ruiz Guirola, Graduado de Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica en la Universidad Central de Las Villas (UCLV) en 2018.

Carlos A. Rodríguez López, Graduado de Ingeniero en Equipos y Componentes Electrónicos en la Universidad Central de las Villas (UCLV) en 1990. Recibió el grado de Master en Ciencias (Mención Sistema de Telecomunicaciones) en esta misma universidad en el año 2000. Desde 1993 y hasta la fecha se desempeña como profesor del Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones (DET) de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la UCLV. Ha trabajado como profesor invitado en varias Universidades Latinoamericanas: Universidad de Antioquia, Colombia 1997; Corporación Universitaria de Ibagué, Colombia 1998. Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia en el período 1999 - 2014; Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Nicaragua en 2005. Becario CAPES en la Universidad Tecnológica Federal de Paraná, Brasil, 2010. Ha participado en varios eventos científicos de carácter nacional e internacional y publicado en áreas como señalización, conmutación, fraude en redes de telecomunicaciones y Calidad de Servicio en Redes IP. Sus principales intereses de investigación están relacionados con las mediciones, el modelado y la evaluación de la calidad de servicios multimedia en redes IP.