

CALIDAD DE SERVICIO DE LA VOZ SOBRE IP EN REDES 802.11e

Esther Álvarez González, Santiago Molins Riera, José María Hernando Rábanos
esther.alvarez.gonzalez@alumnos.upm.es, s.molins@alumnos.upm.es, hernando@grc.ssr.upm.es
Grupo de Radiocomunicaciones del Departamento de Sistemas, Señales y Radiocomunicaciones
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación
Universidad Politécnica de Madrid. Avda. Complutense S/N 28040 MADRID

Abstract- VoIP systems are becoming more widely used as appropriate technology is reaching the final user. Its use over radio networks is still suffering from the more common problems of this kind of networks: the higher mean packet delay and packet loss ratio. These two issues highly impact on the quality of service perceived by the final user. We have worked on merging and verifying enhancements on ns-2 simulator that can provide a unified simulation environment for both VoIP and 802.11e HCCA. This integrated simulation tool has permitted us to evaluate the proposed QoS 802.11e mechanisms and its expected influence over the measured QoS of VoIP calls. It has been observed that these mechanisms are of great effectiveness on scenarios where the channel saturation is high; they improve the perceived QoS of most complicated scenarios. The chosen indicator for QoS estimations is the Mean Opinion Score, MOS, and it has allowed the QoS evaluation, in a unified and comprehensive way, from the final user point of view.

I. INTRODUCCIÓN

La Calidad de Servicio (QoS) es el valor más importante a la hora de dar soporte a aplicaciones exigentes como la VoIP en cuanto sus características de tiempo real. Las nuevas tecnologías radio que han ido surgiendo en los últimos años han ido incorporando mecanismos para dar soporte a este y otros tipos de tráfico con requisitos de tiempo real, es el caso de las nuevas evoluciones de WIFI como el IEEE 802.11n en su última versión de Septiembre de 2009, y el IEEE 802.11e enfocado a la calidad de servicio.

Si volvemos por un momento a los orígenes del problema, necesitamos igualmente algún método cuantificable para comprobar si los nuevos mecanismos introducidos en estas y otras redes radio son realmente eficientes y cumplen con el objetivo para el que se han desarrollado. La UIT-T definió una serie de modelos, procedimientos y métodos de cálculo que permiten cuantificar un objetivo que valora la calidad de una conversación en función de los parámetros ofrecidos por la red, nos referimos al Modelo-E y al Factor-R, según las recomendaciones P.862.x y G.107. Estas y otras recomendaciones asociadas describen su cálculo y también describen el indicador principal a utilizar, el Mean Opinion Score (MOS), en la estimación de la capacidad de una red para ofrecer comunicaciones vocales de calidad suficiente. El MOS es un indicador basado en la agregación estadística de las opiniones de los usuarios sobre una conversación telefónica y se ha establecido una relación entre éste y el

mencionado Factor-R. Esto ha hecho posible, evaluar la calidad percibida por el usuario a partir de cálculos realizados sobre parámetros objetivos (parámetros de red, tipo de tráfico, número de usuarios, etc.). Este artículo muestra los resultados y conclusiones obtenidos, procedentes de la simulación de diversos escenarios VoIP sobre redes 802.11 con HCCA (HCF Controlled Channel Access). Se abre la puerta así a futuras evoluciones de los mecanismos de provisión de QoS en redes radio de esta y otras tecnologías.

Para ello se ha utilizado el simulador de redes ns-2, herramienta open source ampliamente utilizada en investigación, a la que se ha dotado de la funcionalidad adicional adecuada para valorar, tanto los nuevos mecanismos de provisión de QoS en 802.11, como la percepción de la calidad que el usuario acumula, mediante el indicador MOS, en aplicaciones VoIP. Estas ampliaciones al simulador, que han sido desarrolladas por grupos de investigación independientes [2,3,4,5,6], se han integrado y migrado desde sus respectivas versiones de ns-2 hasta la versión 2.34 del simulador, consiguiendo así una herramienta unificada de simulación, integrada y con soporte para simulaciones híbridas VoIP/802.11e HCCA [1].

En el presente artículo damos por conocidas la referencias a la descripción y cálculo del indicador MOS, ciertamente no utilizado el mundo IP pero como veremos igualmente útil, para pasar a mostrar la evaluación de las ventajas de HCCA en entorno 802.11e, dirigidas al incremento de la calidad de las aplicaciones VoIP. Las conclusiones señalan las condiciones de mejora y dejan paso a futuras investigaciones sobre alternativas evolucionadas al propio HCCA.

II. CASO DE ESTUDIO WIFI-HCCA

Se ha establecido el procedimiento para conseguir el objetivo de estudiar el comportamiento de los mecanismos de garantía de QoS en 802.11, especialmente el mecanismo HCCA propuesto en 802.11e. Éste ha consistido en la realización de simulaciones sobre diferentes escenarios para este caso de estudio. Se presentan en este segundo apartado los mecanismos bajo prueba, centrados en la función de planificación de acceso al medio, en la capa MAC.

Para todos los escenarios se han establecido dos planificadores o schedulers diferentes:

- 1) El planificador de referencia definido la recomendación IEEE 802.11e para los puntos de acceso con mecanismos de calidad (QAP).
- 2) Un planificador implementado en las estaciones de suscriptor (QSTA), y que hemos denominado *oneflow scheduler*, tal y como se describe en [6].

El scheduler de referencia se basa en la utilización de una lista circular de descriptores. Cada descriptor contiene información relativa a un TS activo, es decir, las estaciones tienen acceso al medio de forma priorizada a través de una cola o lista circular.

III. ESCENARIOS

Se han considerado tres escenarios básicos que tratan de cubrir de una manera óptima la generación de información para poder establecer conclusiones sólidas y fundadas en simulaciones, y correctamente orientadas al objetivo de esta investigación.

Los puntos en común entre los escenarios considerados se describen a continuación.

En primer lugar se ha considerado un medio de propagación no ideal en todos los casos, donde se tiene en cuenta el retardo de propagación de la red y la posible pérdida de paquetes. Para ello, todos los paquetes UDP generados por el emisor son filtrados por un conector (en nomenclatura ns-2) que tiene la capacidad de:

- 1) Descartar paquetes aleatoriamente de forma que la relación de paquetes descartados (PLR, Packet Loss Rate) se modela por una función aleatoria uniforme.
- 2) Introducir un retardo en la llegada de los paquetes modelado por una variable aleatoria con una distribución exponencial o con una distribución Weibull (tipo 2) [4]. El retardo medio de la red corresponde al valor medio de la distribución.

En segundo lugar, todas las simulaciones están realizadas sobre un tiempo de 600 segundos de conversación, descartando, en todo momento, los diez primeros segundos, de forma que se analizan los datos en un régimen permanente, y se minimiza el efecto frontera o borde en la simulación. Esta extensión temporal se ha establecido de forma empírica, a partir de la cual los resultados medios obtenidos no mostraban una discordancia significativa con la curva obtenida para largos períodos de simulación.

En tercer lugar, según los casos, se han considerado tres tipos de reproductores de voz en destino: un primer con un buffer de tipo óptimo, un segundo con un buffer de reproducción estático con un tiempo fijo de almacenamiento intermedio, y un tercero sin buffer de reproducción, directo. El búfer óptimo es de tipo no causal, es decir, selecciona el retardo una vez recibidos todos los paquetes de un bloque de discurso, ajustando el tiempo de almacenamiento adecuado en cada momento. Este reproductor se utiliza únicamente como referencia, aunque no es realizable está lejos de ser ideal.

A. Escenario A: Escenario de referencia cableado

Este escenario cubre la necesidad de disponer de datos de referencia para realizar comparaciones fundadas con los resultados obtenidos en los subsiguientes escenarios planteados. Se reduce por lo tanto, en este escenario, la variabilidad al mínimo, y se eliminan o desactivan todos los

mecanismos que se valorarán posteriormente. El escenario queda como sigue:

- 1) 2 nodos manteniendo una sola comunicación VoIP.
- 2) Ambos nodos son iguales y están conectados al mismo segmento de red.
- 3) Enlace cableado de 10 Mbit/s, con un retardo de red constante de 5 ms.
- 4) Comunicación vocal con códec AMR y modelo de llamada uno a uno con supresión de silencios (VAD) y buffer de reproducción según los descritos.

Con este escenario se han realizado las simulaciones de referencia, siendo los resultados obtenidos los que se experimentan en condiciones de red óptimas.

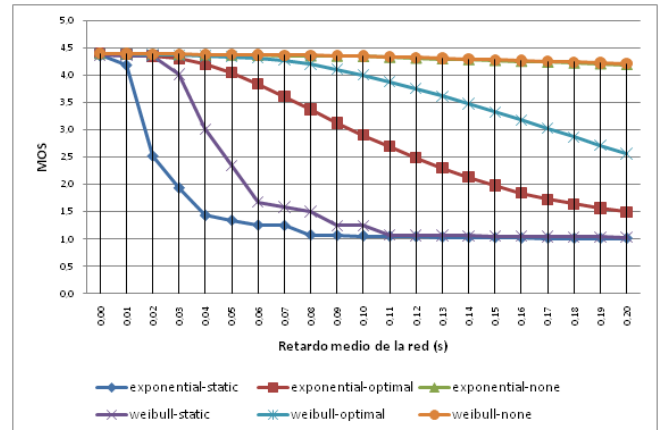


Fig. 1 Escenario Cableado de VoIP. MOS vs Retardo medio de la red para PLR=0

Los resultados de referencia demuestran lo siguiente:

- 1) Los mejores valores de MOS se obtienen para buffer óptimo como era de esperar, destacando los resultados que se basan en la distribución Weibull, debido a que ésta tiene en cuenta la correlación que existe entre los momentos de ocupación del canal por parte de ambos extremos de la conexión.
- 2) El MOS decrece a medida que el retardo medio de la red aumenta, valores mostrados de 0 a 200 ms.
- 3) También podemos observar que el factor que más afecta al MOS no es el retardo medio de la red, sino el tipo de buffer utilizado, por lo que se señala que la calidad percibida no es exclusivamente influenciada por la red IP subyacente, las prestaciones de los mecanismos VoIP son también relevantes.

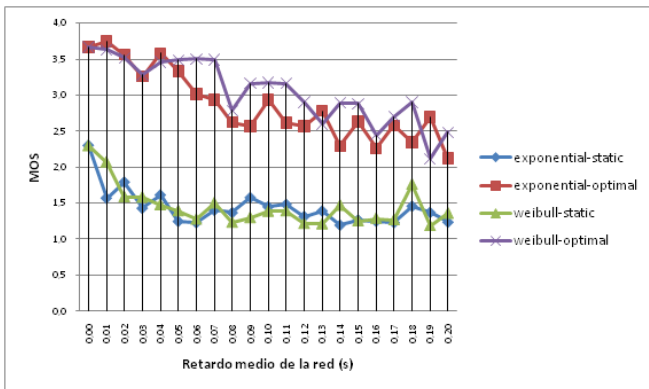
B. Escenario B: Escenario de referencia 802.11

Este escenario traslada el escenario de red cableada a red WIFI, donde ya es posible mostrar diferencias debidas al nuevo medio de transmisión con respecto al Escenario A de red cableada. El escenario queda como sigue:

- 1) 2 nodos manteniendo una sola comunicación VoIP.
- 2) Un nodo es la estación base (AP) y el otro una de sus estaciones asociadas (STA)
- 3) Canal radio WIFI 802.11b de 11 Mbit/s.
- 4) Comunicación vocal con códec AMR y modelo de llamada uno a uno con supresión de silencios (VAD) y buffer de reproducción.

En este caso de simulación ya se incorpora la utilización del canal radio WIFI. Los conjuntos de datos, correspondientes a las distintas simulaciones, se han

obtenido sobre la herramienta de simulación descrita en el primer apartado, deshabilitando en este caso la funcionalidad



HCCA para obtener resultados de referencia WIFI.

Fig. 2 Escenario WIFI de VoIP. MOS vs Retardo medio de la red (s). PLR = 0. Sin HCCA

Como podemos ver en este escenario el MOS se reduce significativamente en relación al escenario anterior de referencia sobre red cableada. En concreto, el MOS resulta deficiente para la selección de buffer estático.

Si observamos los resultados para buffer óptimo, vemos que a partir de 100 ms de retardo medio el MOS evaluado está por debajo de 3, valor a partir del cual no se considera buena calidad en la comunicación vocal.

Como conclusión básica vemos que, si bien el retardo medio de la red influye en el MOS, la elección del buffer de recepción lo hace en mayor medida.

C. Escenario C: Escenario de saturación

Este escenario se ha preparado para realizar los análisis en condiciones de saturación de tráfico en la red con la utilización de HCCA. Las variaciones que se han evaluado en este escenario son:

- 1) Dos nodos, uno QAP y otro QSTA.
- 2) Una conversación VoIP entre ambos nodos.
- 3) Canal radio WIFI 801.11e de 11 Mbit/s
- 4) Uso configurable del mecanismo HCCA
- 5) Comunicación vocal con códec AMR y modelo de llamada uno a uno con supresión de silencios (VAD)
- 6) Uso configurable del buffer de reproducción
- 7) Ocupación adicional del enlace mediante generación de tráfico no VoIP. El tipo de tráfico utilizado es de tasa de bit constante, CBR (Constant Bit Rate) de diferente intensidad
- 8) Ocupación adicional de canal por otras STA generando tráfico VoIP.

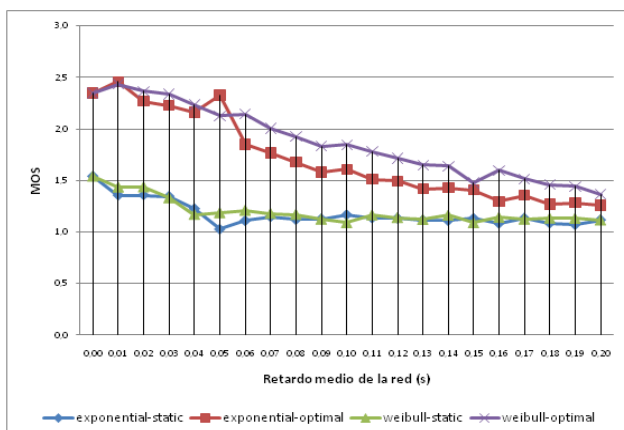


Fig. 3 MOS vs Retardo medio de red (s). Tráfico adicional: 64 Kbps CBR

Como podemos observar la degradación del MOS es muy significativa cuando se considera un tráfico adicional de 64 Kbps.

Se ha observado en simulación que la adición de 64 Kbps de tráfico supone una degradación media de una unidad en el MOS. Por otro lado, el impacto sobre los resultados al utilizar soluciones con buffers de reproducción con rendimientos muy cercanos al óptimo, mejora notablemente, aunque no lo suficiente como para alcanzar un buen nivel.

Para adición de tráfico mayor a 64 Kbps el MOS resulta pésimo. De hecho, no se han encontrado apenas diferencias entre los diferentes buffers considerados ni las distribuciones estadísticas utilizadas para modelar el retardo de paquete y PLR.

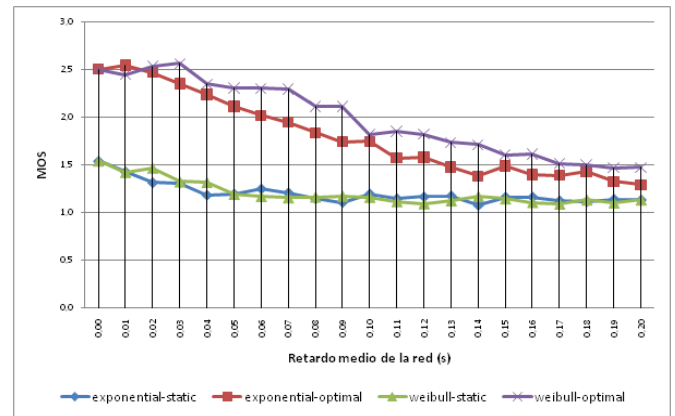


Fig. 4 MOS vs Retardo medio de la red (s). PLR = 0. HCCA activado

El mismo escenario, aunque con el mecanismo HCCA activado, presenta resultados muy diferentes para casos en los que el canal está siendo compartido por CBR subyacente, y para casos en los que el canal se comparte con otras STA que generan tráfico VoIP.

En el primer caso, los resultados no arrojan una mejora significativa por la utilización de HCCA en la red WIFI. Esto es debido a que sólo se han considerado dos fuentes de tráfico (una STA VoIP y otra con tráfico de 64 Kbps CBR), por lo que el usuario VoIP únicamente observa una red con menos capacidad media, donde el planificador HCCA no explota su potencial.

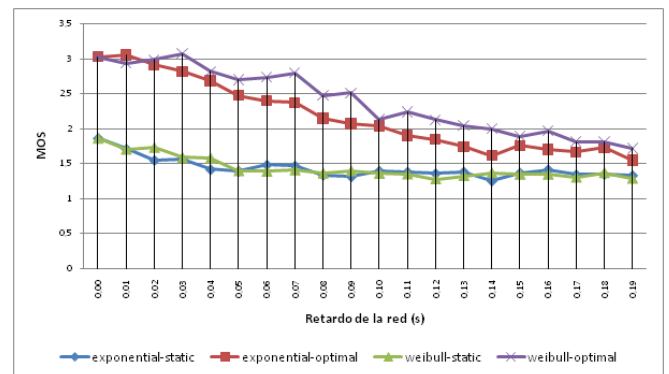


Fig. 5 MOS vs Retardo de res (s). PLR = 0. Tráfico agregado VoIP (4 STA adicionales). HCCA Activado

Los resultados del segundo caso de estudio de este escenario, en el que se ha considerado el tráfico adicional agregado como tráfico VoIP de otras cuatro STA con períodos de actividad aleatorios, nos hacen observar una sensible mejora con la utilización del HCCA. Esta mejora resulta especialmente significativa por el hecho estar utilizando en simulación una implementación del algoritmo de referencia de la norma para los QAP y un sencillo procedimiento de cola simple en las QSTA, lo que sugiere los grandes beneficios que el HCCA puede aportar a las redes WIFI si se desarrollan las nuevas capacidades de ésta en cuanto a QoS.

IV. CONCLUSIONES

Respecto al HCCA, hemos podido comprobar los efectos positivos de esta solución en el MOS resultante, incluso utilizando el scheduler de referencia del IEEE 802.11e para las QAP y un scheduler muy sencillo consistente en una cola simple para las QSTA.

En segundo lugar hemos podido comprobar que la VoIP, si bien es un servicio que no requiere un gran ancho de banda, se ve gravemente afectado por el retardo de la red, por la dispersión del retardo en red, por la tasa de pérdida de paquetes y por la elección de un buffer de reproducción no adecuado. También hemos podido observar que la VoIP es muy sensible a la ocupación o compartición de la red con otro tipo de servicios cuando no existen mecanismos de control de la QoS, tal y como se ha reproducido en el entorno de simulación ns-2 y como reflejan parte de las ilustraciones mostradas.

En tercer lugar hemos podido comprobar los efectos positivos sobre el MOS en servicios de VoIP debidos a la utilización de algoritmos de priorización de tráfico (o de QoS) del HCCA. Esto debiera invitar a los investigadores y empresas a continuar trabajando en la línea de implementar algoritmos avanzados que optimicen las capacidades de la tecnología IEEE 802.11e teniendo en cuenta aspectos como las TSPEC y la utilización de estos parámetros para la formulación y definición de la lógica de programación.

Finalmente cabe destacar que las conclusiones obtenidas en este artículo han podido ser verificadas mediante pruebas reales en las instalaciones de Metro de Madrid. Esto se ha podido hacer debido a que los trabajos de investigación realizados se encuentran comprendidos dentro de un proyecto macro [1] financiado por el Plan Avanza del incluido en el Plan Nacional de Investigación y Desarrollo 2007-2013 dentro de la categoría de proyectos tractores, donde Metro de Madrid es el usuario, operador final y entidad tractora del proyecto.

A la luz del proyecto global mencionado en el párrafo anterior, se han obtenido otras conclusiones de carácter no científico pero con gran impacto en el desarrollo y crecimiento de las redes 802.11.

En primer lugar se puede predecir, dada la experiencia en el proyecto con Metro de Madrid, que la vida útil de la tecnología estudiada es aún larga, sobre todo en los entornos corporativos que apostaron originalmente por esta solución. Por un lado por la necesidad de la amortización de las inversiones realizadas y por otro lado por la gran amplitud de posibilidades que se recogen en la última revisión de la recomendación, facilitando así el cumplimiento de requisitos

necesarios en este tipo de entorno como puede ser la posibilidad de integración de servicios IP con QoS.

En segundo lugar, se concluye que la aplicación de la recomendación está en manos de cada fabricante e integrador tecnológico, así como la implementación de los algoritmos de priorización de tráfico que permiten la gestión de esta QoS. Queda en el aire la cuestión de si ésta dará o no una oportunidad a las empresas especializadas en esta tecnología a situarse de nuevo como tractoras tecnológicas al respecto, en un mercado que está inundado por soluciones *plug and play* de bajo coste que tanto daño han hecho a día de hoy, en la percepción del usuario final de este tipo de redes.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a las entidades participantes en el proyecto SEM: Sistema Extendido en Movilidad de Servicios y Sistemas de Comunicaciones IP, la dedicación y el esfuerzo aportados al proyecto.

A In-Nova, Programa de Innovación Internacional, por realizar con nosotros las actividades de análisis e investigación y el desarrollo de las herramientas de dimensionamiento y simulación utilizadas en el proyecto.

A InfoGLOBAL, Fundación InfoGLOBAL y a Metro de Madrid, por acompañarnos y facilitarnos la realización de las pruebas de campo anteriormente mencionadas.

REFERENCIAS

- [1] E. Alvarez, S. Molins. *SEM: Sistema Extendido en Movilidad de Servicios y Sistemas de Comunicaciones IP*. <http://www.innova.org/index.php/es/-proyectos-de-referencia-mainmenu-27/3-proyectos/30-sem>. 2009.
- [2] Andrea Baccioccola, Claudio Cicconetti, Giovanni Stea. *User Level Performance of VoIP using ns-2*. 2007.
- [3] ITU-T Recommendation G.108. *Application of the Emodel: A planning guide*. September 1998.
- [4] ITU-T Recommendation G.113. *Transmission impairments due to speech processing*. February 2001.
- [5] ITU-T Recommendation G.107. *The Emodel, a computational model for use in transmission planning*. April 2009.
- [6] Das, S. K., Lee, E., Basu, K., Kakani, N., & Sen, S. K. *Performance Optimization of VoIP Calls over Wireless Links Using H.323 Protocol*. IEEE. 2002
- [7] IEEE 802.11-2007. *IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*.
- [8] IEEE 802.11e-2005. *IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks- Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 8: Medium Access Control . (MAC) Quality of Service Enhancements*
- [9] Claudio Cicconetti, Luciano Lenzi, Enzo Mingozzi, Giovanni Stea. *A software architecture for simulating IEEE 802.11e HCCA*. Workshop on Network Simulation Tools (NSTools) Nantes, France, October 2007.