



Recepción: 27 / 10 / 2017

Aceptación: 24 / 11 / 2017

Publicación: 15/ 12/ 2017



Ciencias de la computación

Artículo de investigación

Herramienta para la monitorización de indicadores de calidad de experiencia en servicios streaming en redes móviles entre extremos

Tool for the monitoring of indicators of experience quality in streaming services in mobile networks between extremes

Ferramenta para o monitoramento de indicadores de qualidade de experiência em serviços de transmissão em redes móveis entre extremos

Salvador González-Gómez^I
sgg.2020@gmail.com

Yeneidys Álvarez-González^{II}
yalvarezq2014@gmail.com

Teresa I. Mina-Quiñónez^{III}
teresa_mina@hotmail.com

Marisol Morales-Martínez^{IV}
marysolmoralesmartinez@gmail.com

Carlos A. Jaime-García^V
jaimegarciadc@hotmail.com

Correspondencia: sgg.2020@gmail.com

- I. Master Universitario en Telemática y Redes de Telecomunicación, Ingeniero en Ciencias Informáticas, Docente Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Esmeraldas, Ecuador.
- II. Ingeniero en Ciencias Informáticas, Docente Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Esmeraldas, Ecuador.
- III. Magister en Administración de Empresas, Ingeniera en Sistemas Informáticos y de Computación, Docente Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Esmeraldas, Ecuador.
- IV. Master en Ciencias de la Educación Mención Educación de Adultos, Licenciado en Educación Especialidad Matemática, Docente Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Esmeraldas, Ecuador.
- V. Magister en Docencia y Desarrollo del Currículo, Ingeniero en Sistemas Informáticos, Docente Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Esmeraldas, Ecuador.

Resumen

La herramienta desarrollada permite la monitorización y evaluación continua de los servicios streaming en redes móviles entre extremos, para lograrlo se partió del estudio de las diferentes formas de monitorización y evaluación de los servicios telemáticos, modelos existentes, así como herramientas similares. Con el estudio realizado se pudo identificar indicadores de calidad del servicio necesarios para la monitorización del mismo, también se ha logrado elaborar un modelo de evaluación de servicios streaming, tomando como ejemplo el modelo E pero ajustándolo a los indicadores definidos, luego la salida del modelo es llevada a la escala de otro modelo conocido como MOS, el cual da una evaluación cualitativa de calidad percibida por los usuarios. Las fórmulas matemáticas y procedimientos propuestos son descritos a lo largo de este artículo. La herramienta es capaz de consumir el servicio (reproducción de audio y video), capturar y decodificar los paquetes que viajan por la red correspondientes a los servicios streaming (paquetes RTSP, RTP, RTCP), mostrarlos con todos sus elementos en forma de árbol jerárquico, también captura los cuadros de videos correspondientes al flujo consumido, el mismo flujo es mostrado en el orden en que se van recibiendo los paquetes. Cada indicador es graficado según su comportamiento y variación en el tiempo. La QoE es evaluada en varios momentos de la reproducción en tiempo real, la salida de los modelos es graficada y mostrada para cada prueba. La herramienta permite la monitorización del servicio, la identificación de posibles problemas entre los extremos, y la percepción del servicio prestado por parte de los usuarios.

Palabras clave: calidad; gráficas; modelo; monitorización; servicio; streaming.

Abstract

The developed tool allows continuous monitoring and evaluation of streaming services in mobile networks between extremes, to achieve this it was based on the study of the different forms of monitoring and evaluation of telematic services, existing models, as well as similar tools. With the study carried out, it was possible to identify service quality indicators necessary for the monitoring of the same, it has also been possible to develop a streaming service evaluation model, taking the E model as an example but adjusting it to the defined indicators, then the model output it is taken to the scale of another model known as MOS, which gives a qualitative evaluation of quality perceived by users. The mathematical formulas and proposed procedures are

described throughout this article. The tool is capable of consuming the service (audio and video playback), capturing and decoding the packets traveling through the network corresponding to streaming services (RTSP, RTP, RTCP packets), showing them with all their elements in the form of a hierarchical tree , it also captures the video frames corresponding to the flow consumed, the same flow is shown in the order in which the packets are received. Each indicator is plotted according to its behavior and variation over time. The QoE is evaluated in several moments of the reproduction in real time, the output of the models is plotted and shown for each test. The tool allows the monitoring of the service, the identification of possible problems between the extremes, and the perception of the service provided by the users.

Keywords: quality; graphics; model; monitoring; service; streaming.

Resumo

A ferramenta desenvolvida permite o monitoramento e avaliação contínua de serviços de transmissão em redes móveis entre extremos, para atingir isso, baseando-se no estudo das diferentes formas de monitoramento e avaliação de serviços telemáticos, modelos existentes e ferramentas similares. Com o estudo realizado, foi possível identificar indicadores de qualidade de serviço necessários para o monitoramento do mesmo, também foi possível desenvolver um modelo de avaliação de serviço de transmissão, tomando o modelo E como exemplo, mas ajustando-o aos indicadores definidos, então a saída do modelo é levado à escala de outro modelo conhecido como MOS, que dá uma avaliação qualitativa da qualidade percebida pelos usuários. As fórmulas matemáticas e os procedimentos propostos são descritos ao longo deste artigo. A ferramenta é capaz de consumir o serviço (áudio e vídeo), captura e pacotes de decodificação que viajam através dos serviços de streaming correspondentes (pacotes RTSP, RTP, RTCP), exibição com todos os seus elementos em uma rede de árvore hierárquica , ele também captura os quadros de vídeo correspondentes ao fluxo consumido, o mesmo fluxo é mostrado na ordem em que os pacotes são recebidos. Cada indicador é traçado de acordo com seu comportamento e variação ao longo do tempo. A QoE é avaliada em vários momentos da reprodução em tempo real, a saída dos modelos é plotada e mostrada para cada teste. A ferramenta permite o monitoramento do serviço, a identificação de possíveis problemas entre os extremos e a percepção do serviço prestado pelos usuários.

Palavras chave: qualidade; gráficos; modelo; monitoramento; serviço; transmissão.

Introducción

Diferentes acontecimientos han marcado hitos en la historia: el surgimiento de la radio, el teléfono, la televisión, y más importante aún, Internet; una red lógica global de ordenadores interconectados entre sí. Los dispositivos que se conectan a redes de comunicación han alcanzado un auge sin precedente. Hoy es muy común observar a personas comunicándose con otras a grandes distancias, sin importar las fronteras.

Las redes inalámbricas y de tecnología móvil son palabras de moda entre los usuarios y expertos en la materia. Los diferentes aparatos capaces de conectarse a estas redes, cada vez soportan más servicios, como son: envío de mensajes de texto, de voz; compartición de videos, fotos; entre otros. Esto es posible gracias al continuo avance de las técnicas de las telecomunicaciones, que se encuentran ampliamente desarrolladas. Pero aún no cumplen con todas las expectativas que se van generando. La sociedad evoluciona, se transforma, crece a un ritmo imparable. Las necesidades de ampliación junto a la optimización de los servicios prestados por los sistemas de redes móviles son sorprendentes, poniendo cada vez más alto el reto para los ingenieros.

Uno de los servicios difundidos sobre las redes y sus continuas evoluciones, es el streaming. Una tecnología que se utiliza para aligerar la descarga y ejecución de audio y vídeo en la web, debido a que permite escuchar y visualizar los archivos mientras se están descargando (Venegas Morales, Yáñez Cañas, & J. González, 2005). El montaje del servicio sobre las redes impone dos conceptos de importancia. Uno de ellos es la calidad de servicio (QoS, por sus siglas en inglés) que se presta a los consumidores. Las investigaciones y pruebas realizadas sobre el tema, generalmente están centradas en aspectos objetivos, como las métricas para indicadores de rendimiento de la red (pérdida de paquetes, latencia, ancho de banda, entre otros). Vale destacar para mayor comprensión, que QoS es la capacidad de la red para proporcionar una prestación a un nivel garantizado. Abarca todas las funciones, mecanismos y procedimientos en la red y el terminal que garanticen la obtención de la QoS negociada entre el equipo del usuario (UE, por sus siglas en inglés) y la red básica (CN, por sus siglas en inglés). (Soldani, 2006)

El otro concepto es la calidad de experiencia (QoE, por sus siglas en inglés), que se enfoca más bien a cómo repercute en los usuarios la QoS y como se sienten con los servicios prestados.

Dicho concepto surge de la necesidad de determinar el grado de satisfacción de los usuarios con el servicio. La QoE está orientado a la calidad percibida, cuando se consume uno o varios de los servicios prestados en relación con la accesibilidad, rendimiento, demora, pérdida de paquetes, capacidad de retención e integridad del servicio, seguridad de acceso, tiempo de respuesta del servicio, tiempo en que tarda en configurarse un servicio determinado, entre otros.

Para los proveedores del servicio streaming sobre redes móviles y sus evoluciones, la QoE es un elemento importante a tener en cuenta. Pues informará en gran medida el éxito o fracaso del servicio. Si se mira en términos comerciales, empresariales y/o económicos, tener los usuarios satisfechos, implica garantía de continuidad de los contratos firmados entre las partes (cliente-proveedor), portando estabilidad financiera y credibilidad en el mercado. Ahora, ¿qué indicadores usar para medir la QoE del servicio streaming sobre redes móviles entre extremos y cómo hacerlo?

Metodología

En el presente capítulo mediante el análisis documental se describen detalladamente los conceptos que sustentan la herramienta a desarrollar, como fundamentación teórica base para obtener una amplia comprensión del problema a resolver. Se comienza abordando todo lo relacionado con el servicio streaming: características, protocolos de transmisión, arquitectura, entre otros. Luego se profundiza en los conceptos relacionados a la calidad del servicio y la calidad de experiencia, así como en los modelos e indicadores seleccionados para medir la QoE a partir de la QoS. Seguido se presentan modelos y procedimientos relacionados con el tema de la investigación, finalizando con la propuesta de tecnologías y metodología a usar en el desarrollo de la herramienta.

Desarrollo

Cuando se habla de streaming, se refiere a una tecnología que posibilita la transmisión de audio y video por Internet de forma directa o diferida. Es una tecnología que se utiliza para aligerar la descarga y ejecución de audio y vídeo en la web, debido a que permite escuchar y visualizar los archivos mientras se están descargando (Venegas Morales, Yáñez Cañas, & J. González, 2005).

Si no se utiliza streaming para mostrar un contenido multimedia en la red, se tiene que descargar primero el archivo completo en el dispositivo para poder reproducirlo. Por lo tanto, las emisiones en directo no se podrían realizar. Al consumir un servicio streaming, la información se reproduce a medida que se recibe, o sea, el cliente no tiene que esperar a que toda la información esté disponible. En el momento que existan los datos necesarios para comenzar la reproducción, se iniciará. De esta manera, un cliente de streaming puede no descargar el audio/vídeo, simplemente reproduce la información de cada uno de los paquetes y los descarta.

La información a reproducir se transmite desde un servidor, el cual es el responsable de establecer un canal para el control de los flujos y otro para el envío de los paquetes. Los clientes tienen la misión de reproducir los datos y proporcionar la interfaz necesaria para la interacción con el servicio. Primero el dispositivo móvil se conecta con el servidor comenzado a recibir la información que se transmite. El cliente, mientras la recibe, construye un buffer donde la guarda. Cuando se ha almacenado una pequeña parte, inicia la reproducción y continúa con la descarga simultáneamente; de modo que cuando termine la descarga, también haya acabado la reproducción. Si en algún momento la conexión sufre descensos de velocidad, se utiliza la información almacenada para evitar interrupciones. Si la comunicación se corta por demasiado tiempo, el buffer se vacía y la reproducción se cortaría hasta que se restaurase la señal. (Quintero Ortiz & Cristian, 2006)

Mientras el cliente reproduce la secuencia de audio/video (del inglés, stream), las peticiones realizadas son controladas usando el protocolo RTSP, explicado en próximos epígrafes, que permite realizar acciones como cambiar el elemento en reproducción por otro siguiente o correr el contenido a un punto determinado. En cuanto a los datos sincronizados contenidos en el stream, viajan a través de otro protocolo que permite el traspaso de información en tiempo real sobre cualquier tipo de red, llamado RTP.

Se pueden reproducir en una amplia variedad de aplicaciones, ya sean reproductores multimedia o páginas Web que incluyan módulos o complementos (del inglés, plugins) de estos reproductores. Los clientes no están sujetos a un sistema operativo para poder reproducir los datos, pues la mayoría de los sistemas operativos de uso común tienen aplicaciones para poder ejecutar contenido multimedia como streaming. (Prieto & Rodriguez, 2007)

Los servicios streaming cubren las necesidades de varios sectores: educacionales, empresariales, institucionales entre otros. Pueden ser usados con diferentes fines, entre ellos: radio online, retransmisiones deportivas, conferencias, congresos, cursos online, entrevistas, seminarios, presentaciones de productos, consultas médicas a distancia, consultas jurídicas.

En streaming, como en otros servicios telemáticos, es importante saber con qué calidad perciben los usuarios el servicio prestado. Resulta difícil conocer cuándo el servicio está con los elementos técnicos en uso a un nivel que garantice la conformidad de los usuarios. Streaming suele coexistir con otros servicios que se brindan de manera conjunta en forma de un paquete, lo cual pone aún más difícil el proceso de determinar el grado de satisfacción de los usuarios. Para garantizar la QoE en servicios streaming deben tenerse en cuenta varios aspectos. No basta con tener un buen estado técnico de las conexiones o las tecnologías necesarias para prestar el servicio. Además de los indicadores que puedan ser identificados como elementos de QoS que afecten la QoE, hay que tener en cuenta otros elementos, que van desde la forma en la que se presenta el servicio hasta la disponibilidad del mismo. La investigación se centra en cómo afecta el comportamiento de algunos indicadores de QoS a la QoE. Para ello primero se debe comprender que es cada uno de estos conceptos.

La QoS se define como la capacidad de la red para proporcionar un servicio a un nivel garantizado. Abarca todas las funciones, mecanismos y procedimientos en la red que garanticen la obtención de la calidad de servicio negociada entre los extremos. Según (ITU-T, 2004), es el conjunto de características relacionadas con el rendimiento de los elementos que intervienen en la provisión del servicio, que tienen un efecto en la percepción final del usuario.

QoE es cómo un usuario percibe el estado de un servicio cuando es usado. El término se refiere a la percepción del usuario sobre la calidad de un determinado servicio o red. Se expresa en sentimientos humanos como: “bueno”, “excelente” o “pobre”. Por otra parte, QoS es intrínsecamente un concepto técnico. Se mide, expresado y entendido en términos de redes y elementos de red, que por lo general tienen poco significado para los usuarios. Una red con mejor QoS, en muchos casos dará como resultado una mejor QoE. El objetivo de QoS es obtener una alta calidad de la experiencia. (Soldani, 2006)

La entrega de alta calidad de la experiencia depende de profundizar en el conocimiento de los factores que contribuyen a la percepción de los usuarios de los servicios, y aplicar ese conocimiento para definir los requisitos. Este enfoque, desde arriba hacia abajo, reduce los costes de desarrollo, los riesgos de rechazo y deserción de los usuarios. Además, asegura que el dispositivo o sistema cumpla con los requerimientos de los mismos. (Soldani, 2006)

Para medir la QoE de los servicios streaming es necesario partir de qué indicadores informan cómo se comporta el servicio.

Según (ITU-T, 2001), los siguientes indicadores afectan a los servicios streaming de la manera que se expone a continuación:

- Retardo: Las aplicaciones de tiempo real como las de streaming requieren demoras inferiores a los 150 ms. Si la latencia (tiempo que le toma a un paquete ir de un lado al otro, o de extremo a extremo) sobrepasa estos valores, la transmisión o comunicación se verá afectada con paradas en los cuadros (frames) de video o silencio en el audio. Por la saturación de la red, los enrutadores pueden demorarse en procesar los paquetes, causando demoras en el arribo al no haber suficientes datos en el buffer. Esto provoca indisponibilidad en el servicio, bloqueo o pausa de la aplicación, lo que implica que la reproducción del archivo se vea afectada.
- Jitter (variación del retardo): es la diferencia entre las demoras introducidas por la red. Provoca defectos en la imagen debido a que los componentes de red no actúan siempre bajo las mismas circunstancias. No introduce demoras iguales, lo que puede provocar que los paquetes lleguen desordenados o a destiempo.
- Ancho de banda (de ahora en adelante AB): es fundamental, de él depende hasta qué punto se podrá brindar QoS a un nivel garantizado. Si el medio de transmisión está limitado en ancho de banda y se necesita transmitir video, telefonía IP, datos y web, se debe tener en cuenta hasta qué punto se podrá reservar ancho de banda para las aplicaciones de tiempo real sin que se vean afectadas las demás.

- Velocidad de transmisión (de ahora en adelante Tx): está estrechamente ligada al AB que al mismo tiempo depende del medio de Tx. El tema de la movilidad es fundamental en este punto. Se necesita un método de acceso al medio eficiente en estos casos para poder aprovechar al máximo el AB. Las interferencias son superiores en los enlaces de radio. La velocidad de desplazamiento de la entidad móvil también define en el desempeño del sistema.
- Demora en el comienzo de la reproducción: hasta que no haya suficiente información en el buffer como para comenzar a reproducir, la reproducción no iniciará. Una aplicación que tarde en responder demasiado tiempo es señal de que el servicio se encuentra colapsado o presentando problemas para responder las demandas. Además, afecta la experiencia de los usuarios que no están dispuestos a esperar demasiado tiempo por el inicio de la reproducción y desertan su solicitud de consumo del servicio.
- Pérdida de paquetes: una cantidad de paquetes perdida que sobrepase los valores permisibles puede provocar que la reproducción se interrumpa y genere efecto de bloque en el video y discontinuidades en el audio, entre otros efectos.

Una vez conocidos los indicadores de calidad de servicio para poder medir la QoE es necesario saber, en qué rango de valores deben de oscilar sin que afecten la QoE. En la Tabla 1 se definen los umbrales de valores para los indicadores:

Medio	Aplicación	Grado de Simetría	Tasa de datos típica	Parámetros de rendimiento			
				Retardo en un sentido	Variación del retardo	Pérdida de paquetes	Otras
Audio	Voz convencional	Bidireccional	4–64 KB/s	Límite < 400 ms Preferible <150 ms	< 1 ms	< 3%	
Audio	Mensaje de voz	Básicamente unidimensional	4–32 KB/s	< 1 s para reproducción < 2 s para grabación	< 1 ms	< 3%	
Audio	Distribución de audio de alta calidad	Básicamente unidimensional	16–128 KB/s	< 10 s	<< 1 ms	< 1%	
Video	Video conferencia	Bidireccional	16–384 KB/s	Límite < 400 ms Preferible <150 ms		< 1%	Retardo audio video < 80 ms
Video	Distribución de video	unidimensional	16–384 KB/s	< 10 s		< 1%	

Tabla 1 Objetivos de rendimiento para aplicaciones de audio y video. (ITU-T, 2001)

Determinados los indicadores y los valores umbrales para cada uno, es necesario definir los métodos para medir la QoE. Para hacer la tarea expresada, un estudio realizado arroja que existe una variedad de procedimientos para evaluar la QoE en varios servicios, pero no así en el caso específico de streaming. Por tanto, se propondrá uno y se validará con la herramienta a desarrollar.

Algunos de los modelos y/o métodos para medir la QoE en servicios telemáticos a partir de indicadores de QoS son los llamados métodos de estimación. Son métodos que se basan en la aplicación de modelos que tratan de representar de forma cuantitativa, la relación existente entre los indicadores de QoS y la QoE que perciben los usuarios cuando consumen un servicio. Los modelos se establecen a partir de numerosas pruebas experimentales en diferentes escenarios. Permiten la evaluación continua del servicio. Además, se caracterizan por estar centrados en un servicio específico.

El primer modelo a tener en cuenta es el Modelo E: se creó como modelo de planificación de redes de telefonía y posteriormente usado para la estimación de la calidad percibida en redes operativas. El modelo combina diferentes factores de degradación de la señal de voz, de modo que, a partir de valores de determinados parámetros, se calcula la estimación de la señal ruido (factor R) y luego la estimación de la calidad percibida con el método Puntuación Media de Opinión (MOS, por sus siglas en inglés). (ITU-T, 2011)

El modelo MOS está documentado en (ITU-T, 1996). En (ITU-T, 2003) se establece la terminología relacionada con la escala de evaluación subjetiva, inicialmente aplicada para la evaluación subjetiva de las comunicaciones de voz tradicionales. El método es extendido a aplicaciones multimedia en (ITU-T, 2008), para comunicaciones de audio unidimensionales no interactivas; en (ITU-T, 1999) para audio y video unidimensionales no interactivas como la difusión de televisión, aplicable también al video bajo demanda; y en (ITU-T, 2000) para la aplicación en comunicaciones de audio y video bidireccionales como la videoconferencia y videotelefonía.

Las siguientes tecnologías han sido usadas en el proceso de implementación de la herramienta. Para su selección se tuvo en cuenta el criterio de los especialistas y los requerimientos del cliente hacia el cual está orientado el resultado final de la investigación.

Se escoge como lenguaje de programación Microsoft C# en su versión 4.0 porque está diseñado para crear un amplio número de aplicaciones empresariales que se ejecutan en .NET Framework. Es sencillo, proporciona seguridad de tipos y está orientado a objetos. El código creado mediante C# se compila como código administrado, lo cual significa que se beneficia de los servicios de Common Language Runtime. Estos servicios incluyen interoperabilidad entre lenguajes, recolección de elementos no utilizados, mejora de la seguridad y mayor compatibilidad entre versiones. Permite la creación de aplicaciones para Windows, servicios Web, herramientas de base de datos, componentes, controles y mucho más. (Microsoft Corporation, s.f.)

.NET Framework en su versión 4.0 fue seleccionado por ser un componente integral de Windows que admite la compilación y ejecución de la siguiente generación de aplicaciones y servicios webs XML. Su diseño está encaminado a: proporcionar un entorno coherente de programación orientado a objetos y un entorno de ejecución de código que reduzca al máximo la implementación de software y los conflictos de versiones; promover la ejecución segura del mismo, que elimine los problemas de rendimiento de los entornos en los que se utilizan scripts o intérpretes de comandos; y basar toda la comunicación en estándares del sector para asegurar que el código de .NET Framework se puede integrar con otros tipos de código. (Microsoft Corporation, s.f.)

Como entorno de desarrollo integrado se seleccionó Visual Studio 2010 Ultimate por ser un conjunto completo de herramientas de desarrollo para la generación de aplicaciones móviles, de escritorio, web y servicios web XML. Soporta varios lenguajes de programación como Visual Basic, Visual C#, Visual C++ y ASP.NET. Habilita el uso compartido de herramientas y utiliza las funciones de .NET Framework. (Microsoft Corporation, s.f.)

SQLite es una biblioteca de software que se enlaza con el programa pasando a ser parte integral del mismo. Implementa un gestor de bases de datos SQL embebido, sin configuración. Los usuarios más conocidos que la utilizan actualmente en sus aplicaciones son: Adobe, Apple,

Mozilla, Google, McAfee, Microsoft, Philips, Sun y Toshiba, entre otros. Con todas las características habilitadas, el tamaño de la librería es inferior a 250Kb. Deshabilitando características opcionales, el tamaño puede quedarse por debajo de los 180Kb. Esto la hace muy apropiada para usarla en dispositivos con poca memoria, como teléfonos móviles, PDAs y reproductores MP3. Requiere muy poco soporte de librerías externas o del sistema operativo. Esto la hace adecuada para usarla en pequeños dispositivos que no son tan completos como los ordenadores de escritorio. (SQLite, s.f.)

La Programación Extrema (XP, por sus siglas en inglés) fue escogida como metodología de desarrollo de software debido a que es ágil y se centra en potenciar las relaciones interpersonales como clave para el éxito. Además, promueve el trabajo en equipo, el aprendizaje de los desarrolladores y propicia un buen clima de trabajo. XP se basa en la realimentación continua entre el cliente y el equipo de desarrollo, la comunicación fluida entre todos los participantes, la simplicidad en las soluciones implementadas y el coraje para enfrentar los cambios. Es adecuada para proyectos con requisitos imprecisos, muy cambiantes y donde existe un alto riesgo técnico. (Beck, 1999)

La herramienta desarrollada permite la monitorización y evaluación continua de los servicios streaming sobre redes móviles entre extremos. Se identificaron indicadores de calidad del servicio necesarios para la monitorización. Se ha logrado elaborar un modelo de evaluación de los servicios streaming, tomando como ejemplo el modelo E pero ajustándolo a los indicadores definidos, luego la salida del modelo es llevada a la escala de otro modelo conocido como MOS, el cual da una evaluación cualitativa de calidad percibida por los usuarios. Las fórmulas matemáticas y procedimientos propuestos son descritos a lo largo de este artículo. La herramienta es capaz de consumir los servicios (reproducción de audio y video), capturar los paquetes que viajan por la red correspondientes a los servicios streaming (paquetes RTSP, RTP, RTCP) y mostrarlos con todos sus elementos en forma de árbol jerárquico. También captura los cuadros de videos correspondientes al flujo consumido, el flujo es mostrado en el orden en que se van recibiendo los paquetes. Cada indicador es graficado según su comportamiento y variación en el tiempo, La QoE es evaluada en varios momentos de la reproducción, también es graficado y mostrado la salida de los modelos para cada prueba. La herramienta permite la monitorización de

los servicios, la identificación de posibles problemas entre los extremos, y la percepción de la calidad de los servicios prestados por parte de los usuarios. Imágenes de la herramienta en funcionamiento pueden verse en los anexos, el modelo que se propone queda de la siguiente manera.

Se propone para evaluar la calidad de experiencia un modelo que calcule el factor R pero ajustándose a los indicadores descritos. Luego el resultado de ese factor R, que debe ser un valor entre cero y cien es llevado a una escala MOS. Las fórmulas matemáticas necesarias y procedimientos se describen en el próximo epígrafe.

El cálculo de la QoE estimada en un momento del tiempo está dado por el valor del factor R en una escala MOS. Para el cálculo del factor R ajustado a los servicios streaming y a los indicadores descritos anteriormente se propone la siguiente ecuación:

$R = R_0 - D_r - D_{pp} - D_{ab} + A$, Siendo R_0 un valor ideal igual a 100, el cual va a verse degradado en dependencia del comportamiento de los indicadores.

D_r , representa las degradaciones por retardos que se calcula de la siguiente forma:

$$D_r = R_{\text{jitter}} + R_{\text{frames}} + R_{\text{inicio de la reproduccion}}$$

$$R_{\text{jitter}} = f(j) = \begin{cases} 0, j \leq 1ms \\ 100, j \geq 400ms \\ 100j/400, 1 \leq j \leq 400ms \end{cases}$$

Siendo j el valor del Jitter en un instante de tiempo.

$$R_{\text{frames}} = f(d) = \begin{cases} 0, d \leq 1ms \\ 100, d \geq V_p ms \\ 100d/V_p, 1 \leq d \leq V_p \end{cases}$$

Siendo V_p el valor máximo permitido por el cliente streaming para recibir cuadros desde el servidor. En la investigación se usa un valor $V_p = 1000$ e d igual al valor de la demora entre el último cuadro recibido y el anterior.

$R_{\text{inicio de la reproducción}}$, es igual al tiempo desde que se envía la petición de reproducir al servidor, más el proceso de llenar el buffer y comenzar la reproducción.

D_{pp} , representa las degradaciones producidas por las pérdidas de paquetes. Se calcula teniendo en cuenta el porcentaje de pérdidas permitido para aplicaciones de video, expuesto en el epígrafe 1.2.3, que es un 3 % máximo.

$D_{pp} = C_{pp} * 100 / C_{pe}$, C_{pp} , es la cantidad de paquetes perdidos y C_{pe} , es la cantidad de paquetes esperados.

$$D_{ab} = f(ab) = \begin{cases} 100, & ab < 16kb/s \\ 0, & ab \geq 16kb/s \end{cases}$$

Siendo ab la velocidad del ancho de banda negociado entre la aplicación cliente y el servidor.

El parámetro A tomará valores de cero para redes Ethernet y de tres para redes móviles.

Una vez calculado el factor R este valor debe ser llevado a la escala MOS como se describe a continuación.

El modelo relaciona el valor de “ R ” con el “MOS”, con un gran nivel de aproximación, según la tabla 2:

Factor R	Categoría	Satisfacción del usuario
$90 \leq R < 100$	Excelente	Muy satisfechos
$80 \leq R < 90$	Alta	Satisfechos
$70 \leq R < 80$	Media	Algunos usuarios insatisfechos
$60 \leq R < 70$	Baja	Muchos usuarios insatisfechos
$50 \leq R < 60$	Mala	Prácticamente todos los usuarios insatisfechos
NOTA – R por debajo de 50 no es recomendado.		

Tabla 2 Relación del factor R con en una escala MOS según (22)

Además de los elementos expuestos anteriormente fue necesaria la utilización de una librería la cual se describe posteriormente.

Conclusiones

A logrado de la investigación se ha logrado caracterizar el servicio streaming obteniendo los fundamentos teóricos necesarios para la elaboración de la herramienta. Se obtuvo una panorámica del estado del arte de las herramientas para evaluar la QoE. Fueron definidos los requisitos necesarios para la implementación de la herramienta. Se logró implementar todos los requisitos propuestos. Se obtuvo la primera versión estable de la herramienta. Cumplido esta fase de investigación se recomienda para las próximas fases incluir otros tipos de indicadores relacionados con el tipo de compresión de audio y video.

Referencias Bibliográficas

APPLE COMPUTER. (2007). INC. Mac OS X QuickTime Streaming Server 5.0.

Beck, K. (1999). Extreme Programming Explained: Embrace Change. Pearson Education.

Deering, S. (2012). IP Multicast Extensions for 4.3BSD UNIX and related systems.

Gómez, A. F., Mateo, A. L., & Ruíz, P. (2007). Arquitectura para el control de emisores en entornos multicast. Recuperado el 10 de diciembre de 2012, de <http://www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/50-51/ponencia13.html>

Internet Engineering Task Force. (2001). RTSP RCF 3226.

ITU-T. (1996). Recomendación P.800: Métodos de determinación subjetiva de la calidad de transmisión.

ITU-T. (1999). Recomendación P.911: Métodos de evaluación subjetiva de la calidad.

ITU-T. (2000). Recomendación P.920: Métodos de prueba interactivos para comunicaciones audiovisuales.

ITU-T. (2001). Recomendación G1010: Categorías QoS para el usuario final en servicios multimedia.

- ITU-T. (2003). Recomendación P.800.1: Terminología de las notas medias de opinión.
- ITU-T. (2004). Recomendación QoS.02: Manual Calidad de servicio y rendimiento de la red.
- ITU-T. (2008). Recomendación P.910: Subjective video quality assessment methods.
- ITU-T. (2011). Recomendación G.107: The E-model: a computational model for use in transmission planning.
- Kioskea. (2008). Kioskea. Recuperado el 10 de enero de 2013, de Protocolos: <http://es.kioskea.net/contents/internet/protocol.php3>
- Li-yuan, L. (2006). The Research of Quality of Experience Evaluation Method in Pervasive Computing Environment., (págs. 178 - 182). Urumqi.
- María, S. (2004). Desarrollo Web. Protocolos de comunicación. Recuperado el 15 de enero de 2013, de <http://www.desarrolloweb.com/articulos/1617.php>
- Microsoft Corporation. (s.f.). MSDN. Recuperado el 16 de enero de 2013, de Lenguaje Visual C#: <http://msdn.microsoft.com/es-es/library/aa287558%28v=VS.71%29.aspx>
- Microsoft Corporation. (s.f.). MSDN. Recuperado el 16 de enero de 2013, de Objetos, clases y estructuras (c#): <http://msdn.microsoft.com/es-es/library/ms173109%28v=VS.80%29.aspx>
- Microsoft Corporation. (s.f.). MSDN. Recuperado el 16 de enero de 2013, de Información general y conceptual sobre .NET Framework: <http://msdn.microsoft.com/es-es/library/zw4w595w%28v=VS.80%29.aspx>
- Microsoft Corporation. (s.f.). MSDN. Recuperado el 16 de enero de 2013, de Características de implementación de .NET Framework: <http://msdn.microsoft.com/es-es/library/410zh1ty%28v=VS.80%29.aspx>
- Microsoft Corporation. (s.f.). MSDN. Recuperado el 16 de enero de 2013, de Introducción a Visual Studio: <http://msdn.microsoft.com/es-es/library/vstudio/6b6b1f4%28v=vs.100%29.aspx>

Microsoft Corporation. (s.f.). MSDN. Recuperado el 16 de enero de 2013, de Microsoft Visual Studio 2010 Ultimate: <http://www.microsoft.com/es-es/download/details.aspx?id=12187>

Pérez Agüera, J. R., Sánchez Jiménez, R., & Caldera Serrano, J. (2004). ADAPTACIÓN DE TECNOLOGÍAS STREAM Y XML A CENTROS DE DOCUMENTACIÓN EN TELEVISIÓN.

Prieto, A. F., & Rodríguez, L. F. (2007). Streaming de audio a través de dispositivos móviles. Bogotá.

Quintero Ortiz, J. P., & Cristian, C. S. (2006). EVALUACION DE SERVIDORES DE STREAMING DE VIDEO ORIENTADO A.

Rijo Sciara, D. (2004). Fundamentos de Video Streaming (Vol. I). Montevideo, Uruguay.

Schulzrinne, H., Casner, S. L., Frederick, R., & Jacobson, V. (julio de 2003). IETF Tools. Recuperado el 20 de noviembre de 2012, de RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications: <http://tools.ietf.org/html/rfc3550>

Soldani, D. (2006). QoS and QoE Management in UMTS Cellular Systems. England: John Wiley & Sons.

SQLite. (s.f.). Recuperado el 5 de diciembre de 2012, de <http://sqlite.org/about.html>

Venegas Morales, M. H., Yáñez Cañas, A., & J. González, A. (2005). Transmisión de video de alta calidad a través de redes IP. Valparaíso: Casilla 110-V.