

QMoES: una herramienta de estimación de BW en arquitecturas QoE de banda ancha

José I. Aznar, Eduardo Viruete, Julián Fernández-Navajas, José Ruiz-Mas, José M^a Saldaña,
 Grupo de Tecnologías de las Comunicaciones (GTC)
 Dpto. de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones (DIEC)–Instituto de Investigación en Ing. de Aragón (I3A)
 Universidad de Zaragoza
 DIEC, Edificio Ada Byron, Centro Politécnico Superior de la Universidad de Zaragoza
 Email: {jiaznar, eviruete, navajas, jruiz, jsaldana}@unizar.es

Resumen- El actual panorama de las comunicaciones multimedia está evolucionando hacia servicios que implican estrictos requerimientos tecnológicos. El actual escenario *Triple-Play* resulta insuficiente para adaptarse a cada servicio solicitado y gestionarlo a través de Internet con Calidad de la Experiencia (QoE, *Quality of Experience*) garantizada. La iniciativa RUBENS (*Rethinking the Usage of Broadband Access for Experience-optimized Networks*) define un nuevo modelo de arquitectura que aúna los mecanismos de QoS más relevantes a fin de mejorar la QoE de usuario. En este contexto, presentamos el mecanismo QMoES (*Quality Monitoring and Estimation*): una herramienta de estimación y monitorización de ancho de banda que colabora en el mantenimiento de la QoE. Nuestro estudio explica la implementación y evaluación del mecanismo QMoES,

Palabras Clave- QoS, QoE, Estimación Activa de BW, Simulación OPNET, Arquitecturas NGN.

I. INTRODUCCIÓN

La evolución exponencial de servicios conlleva un considerable incremento del tráfico (ej. flujos de video, P2P (*Peer-to-Peer*), juegos on-line, etc.), al mismo tiempo que los usuarios finales están limitados por configuraciones de red basadas en *Best-Effort*, las cuales no proporcionan garantías de QoS. El serio incremento de contenido multimedia combinado con la necesidad de personalización de los servicios establece nuevos parámetros y requerimientos que las nuevas arquitecturas de red basadas en QoE deben gestionar. Por un lado, la provisión de servicios a través de Internet permite a los operadores y proveedores de servicio ofrecer un elevado grado de flexibilidad. Por otro lado, las redes basadas en *Triple-Play* proporcionan calidad no personalizada a determinadas aplicaciones que no requieren configuraciones dinámicas [1]. Sin embargo, existen diversos factores que implican que resulte complicado garantizar QoE extremo a extremo en la provisión de servicios multimedia.

Una posible solución podría consistir en un sobre-dimensionamiento de redes y recursos. Una solución más interesante desde el punto de vista de la investigación, considera que los bloques funcionales de una red son responsables de la gestión de recursos y la provisión de QoE a través de señalización cruzada entre capas y técnicas de ingeniería de red. Esta alternativa supone una solución fundamental para el problema de provisión de

contenidos y para alcanzar niveles de QoE y personalización aceptables.

El proyecto RUBENS (*Rethinking the Usage of Broadband Access for Experience-optimized Networks*) [1] propone la definición y evaluación de una arquitectura de red que ofrece QoE personalizada para una gran variedad de aplicaciones, modelos de distribución y equipamiento de red. RUBENS incluye diversos mecanismos que optimizan dinámicamente la experiencia de los usuarios finales a través de la coordinación entre la red y las aplicaciones. Uno de esos mecanismos clave consiste en la provisión de medidas de estimación de ancho de banda disponible de un determinado enlace extremo a extremo y su monitorización. La utilización de herramientas de estimación de ancho de banda (BW, *BandWidth*) permite adaptar dinámicamente las sesiones de usuario y reaccionar a inesperadas degradaciones de calidad en la red RUBENS.

En este trabajo proponemos una nueva herramienta de estimación y monitorización de BW denominada QMoES (*Quality Monitoring and Estimation*) adaptada a los requerimientos específicos que la arquitectura de red y los servicios precisan. Con este fin, se presenta en primer lugar una descripción general de la arquitectura RUBENS y se define el rol específico de QMoES. Además, se explican los requerimientos de RUBENS en términos de las métricas más relevantes que precisan ser mejoradas en el proceso de implementación de herramientas de estimación. Adicionalmente, se exponen los resultados de simulación que cuantifican la bondad de QMoES, así como las principales conclusiones y líneas de trabajo futuras.

El trabajo está organizado de la siguiente manera: Una revisión del estado del arte de las herramientas de estimación de BW se ofrece en la sección II. La sección III describe la arquitectura RUBENS y los bloques funcionales de gestión de la QoE. En la sección IV se detalla la plataforma de simulación basada en OPNET. La sección V explica los resultados de simulación más relevantes. La sección VI concluye este trabajo.

II. REVISIÓN DE HERRAMIENTAS DE ESTIMACIÓN DE BW

Una de las clasificaciones más aceptadas divide las herramientas activas de estimación de BW en dos grupos

principales: PGM (*Probe Gap Models*), las cuales basan su estimación en la dispersión temporal entre dos paquetes consecutivos en el receptor, y PRM (*Probe Rate Models*), cuyas estimaciones se basan en el envío de trenes de paquetes (más de dos paquetes) a diferentes tasas.

La eficacia y eficiencia de las herramientas de estimación de BW ha sido ampliamente estudiada. En esta sección proponemos una revisión de las herramientas más recientes e identificamos las principales limitaciones que tanto los modelos PGM como PRM presentan.

Las implementaciones de mecanismos de estimación de BW recientes han sido argumentadas de forma genérica, considerando diversas hipótesis de partida que no representan condiciones reales en redes actuales: por ejemplo, es común a todos los métodos PGM la suposición de que el *Narrow-link* (enlace que presenta una menor capacidad total) coincide con el *Tigh-link* (enlace que presenta un menor ancho de banda disponible). Sin embargo, se ha probado [2] que esta hipótesis no funciona en escenarios de alta capacidad en los que los enlaces presentan varios saltos entre los extremos de la comunicación y el tráfico es no persistente [3]. Spruce [4] y ABwE [5] constituyen mecanismos recientes de estimación de BW que se apoyan en este concepto. Por este motivo, los métodos basados en PGM y sus características no han sido considerados para la implementación de QMoES, centrando nuestro esfuerzo en herramientas tipo PRM.

Otra limitación observada está relacionada con el modelo de tráfico interferente utilizado para interaccionar con el tráfico de prueba propio de las estimaciones de BW. Por ejemplo, en [5] el modelo de tráfico se compone de paquetes de 700 bytes de tamaño fijo con tasa de bit constante, el cual no representa condiciones de tráfico real. También la configuración de los *test-bed* propuestos para la validación de las herramientas de estimación de BW presenta cierta obsolescencia. Así, en [6] los autores presentan un estudio basado en un modelo de Markov que utiliza un *test-bed* con una capacidad máxima de 10 Mbps. Adicionalmente, algunas de las herramientas propuestas se presentan de una forma muy generalista, ignorando la posibilidad de incluir en los estudios aplicaciones concretas y arquitecturas en las que pudieran ser integradas.

En definitiva, no es evidente que los mecanismos de estimación propuestos más actuales sean adecuados para las redes de nueva generación. En las sucesivas secciones presentamos la implementación de QMoES en el contexto de la arquitectura RUBENS. Existen varias diferencias entre los mecanismos previamente propuestos y el que se presenta en este trabajo. En primer lugar, particularizamos QMoES a los requerimientos específicos de RUBENS, mejorando las métricas de interés. En segundo lugar, no se ha asumido un modelo de tráfico interferente, sino que se ha utilizado la herramienta OPNET para configurar los servicios de voz y vídeo. Finalmente, hemos considerado un escenario con enlaces de alta capacidad y para situaciones de congestión media y elevada, que sí representan condiciones más realistas en las actuales redes de comunicaciones.

III. ARQUITECTURA RUBENS

El objetivo de RUBENS consiste en definir y validar una arquitectura de red de acceso que garantice la provisión de servicios con QoE. Los servicios considerados están basados en contenidos multimedia, especialmente Video bajo demanda (VoD, *Video on Demand*), puesto que representa uno de los servicios más atractivos tanto para usuarios como para proveedores. Considerando este principio, la arquitectura RUBENS presenta un nuevo escenario para la provisión de servicios de forma dinámica.

A. Perspectiva global de los bloques funcionales RUBENS

La arquitectura RUBENS ha sido implementada atendiendo a los servicios (principalmente VoD) que pretenden ser desplegados y especifica las funcionalidades que deben poseer los accesos de banda ancha para controlar la calidad con la que dichos contenidos son ofrecidos. A fin de definir las interacciones que se producen en el seno de la arquitectura, los mecanismos se agrupan en siete bloques:

El **Sistema Interfaz de Aplicación (SIA)** proporciona un enlace directo entre las características del nivel de aplicación y la función global de RUBENS. El **Sistema de Gestión de la Calidad (SGC)** habilita la modificación y ajuste dinámico de los parámetros de un servicio determinado e incrementa o disminuye el nivel de QoE con el que dicho servicio es distribuido. El **Sistema de Gestión de Ancho de Banda (SGAB)** es responsable de la asignación de ancho de banda de una clase de servicio. El **Sistema de Gestión de Transporte (SGT)** gestiona los distintos mecanismos de transporte que utilizan los servicios. Esto incluye tanto la selección del método de transporte (*unicast/multicast, stream/progresive, etc.*) como la adecuación de los parámetros de transporte (p. ej. capacidad media de *buffering, caching, etc.*). El **Sistema de Control de Servicios y Usuarios (SCSU)** se encarga de contrastar las restricciones de provisión de servicios a través de la red RUBENS. Las políticas de usuario y servicio son consultadas en este bloque. Las **Funciones de Mediación** constituyen el núcleo de la arquitectura. Encapsulan la lógica para tomar decisiones en base a los datos proporcionados desde los demás bloques funcionales. La gestión ha sido dividida en dos funciones: El **Sistema de Gestión Principal (SGP)**, que gestiona los servicios de forma individual, y el **Sistema de Gestión Inter-Servicio (SGIS)**, encargado de la gestión de la totalidad de la QoS observada en una línea de acceso. Por último, el **Sistema de Monitorización de QoE (SMQoE)** es responsable de proporcionar estimaciones de ancho de banda disponible e informar al SGP y al SGIS sobre el rendimiento de un determinado enlace extremo a extremo, y así adaptar el funcionamiento de los bloques SGAB, SGT y SGC en caso de que la calidad percibida por el usuario experimente una cierta degradación.

B. Requerimientos y métricas fundamentales en RUBENS

Las metodologías utilizadas por las herramientas de estimación de BW establecen que debe haber un

compromiso entre una serie de métricas de referencia: *Precisión*, *Intrusividad* y *Tiempo de Estimación* [7], las cuales determinan la bondad de los métodos de estimación. Diversas investigaciones han propuesto interesantes soluciones basadas en estas métricas, buscando realizar una herramienta en la que todas las métricas fueran optimizadas simultáneamente. Sin embargo, tal y como se explica en [2], no existe ni la necesidad ni la oportunidad (al menos en redes con enlaces de capacidad elevada) de implementar una herramienta que mejore al mismo tiempo las tres métricas, debido a su carácter antagónico. En este trabajo se ha optado en primer lugar por caracterizar los requerimientos exigidos a la red RUBENS, a fin de identificar qué métricas sería deseable optimizar.

El objetivo de RUBENS consiste en proporcionar calidad a los contenidos personalizados ofrecidos a los usuarios finales. Por esta razón, la *Precisión* es una métrica significativa para mantener niveles de QoE adecuados con fiabilidad. Considerando que la red debe adaptarse dinámicamente en tiempo real a posibles degradaciones, el *Tiempo de Estimación* es también crucial para permitir al sistema reaccionar rápidamente a variaciones de calidad inesperadas que pudieran empeorar la percepción de servicio que tiene el usuario. Por último, la *Intrusividad* de las medidas es también una métrica a considerar. Dado que la red RUBENS trabaja con enlaces de alta capacidad, estas métricas no resultan tan críticas en el proceso de validación, a pesar de que minimizar su impacto es deseable también.

IV. PLATAFORMA DE SIMULACIÓN

Se ha propuesto un escenario de simulación que refleja las condiciones de la arquitectura RUBENS. La idea no consiste en implementar todas las funcionalidades de RUBENS, sino en imitar su comportamiento y determinar la bondad de las estimaciones del sistema QMoES. La plataforma de simulación ha sido dividida en dos partes fundamentales (Fig. 1): la primera consiste en un escenario basado en la herramienta OPNET Modeler que se encarga de obtener en el extremo receptor del enlace, medidas temporales de los paquetes de estimación inyectados desde el extremo origen del enlace. (*TRX mechanism* en Fig. 1). La segunda parte del proceso ha sido implementada con MATLAB y lleva a cabo la traslación de las medidas temporales en estimaciones de ancho de banda disponible (*RCV mechanism* en Fig. 1).

A. Plataforma OPNET y configuración de parámetros

La plataforma de simulación basada en OPNET simula la infraestructura RUBENS. Consiste en una red de acceso compuesta de varios nodos y un nodo central que representa el núcleo de red. Varios usuarios finales comparten videos multimedia a través de los enlaces que comprende la red RUBENS. El proceso de intercambio de video ha sido configurado en las utilidades *Definición de Aplicaciones* y *Perfiles* disponibles en OPNET que permiten simular distintos tipos de contenido (Video, VoIP, etc.) y diversos niveles de congestión (medio y alto). Niveles de congestión media significa que el *Tight Link* del enlace de interés presenta un 40% de ancho de

banda disponible. Un nivel de congestión alto presenta un 20% de ancho de banda disponible en el *Tight Link*. Los enlaces extremo a extremo configurados entre usuarios finales presentan capacidades del orden de Gigabits. Adicionalmente, existen una serie de parámetros que condicionan el comportamiento de QMoES y que es preciso tener en consideración. Cabe destacar:

1) *Modelo de tráfico de prueba (o estimación)*: es el tráfico de estimación inyectado por la herramienta QMoES en uno de los extremos del enlace a monitorizar, característico de los modelos de estimación activos. El tráfico ha sido configurado en trenes de paquetes de tamaño 1500 bytes (MTU soportado por la mayoría de las redes basadas en Ethernet), y de la tasa más popular y utilizada en diversos trabajos de estimación de BW [8-10]. El número de paquetes por tren ha sido empíricamente establecido en 200. Se han estudiado dos tipos de configuración de trenes de paquetes: uniforme y sectorizada, las cuales son objeto de análisis en la sección V. El patrón de distribución uniforme genera trenes de paquetes a una tasa con distribución uniforme entre dos umbrales inferior y superior. El modelo sectorizado divide el espectro de tasas de estimación (mismos umbrales de tasa mínima y máxima) en diversos sectores con una probabilidad de ocurrencia asignada. Así, el número de trenes de paquetes configurados con la misma tasa varía en función de la probabilidad de ocurrencia.

2) *Modelo de colas*. El modelo de colas FIFO ha sido considerado como modelo de referencia en recientes implementaciones de *test-bed* y herramientas de estimación de ancho de banda.

B. Proceso de simulación

Los paquetes de estimación son inyectados en el nodo SRC, en donde se les añade una marca temporal. El tráfico

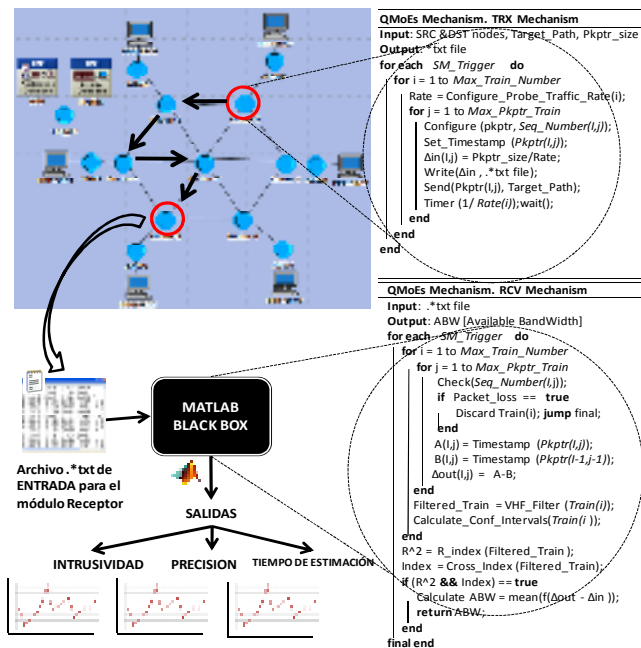


Fig. 1. Plataforma de simulación basada en OPNET y MATLAB para la validación de QMoES.

de estimación recorre el enlace cuyo ancho de banda disponible se quiere estimar y alcanza el nodo destino *DST*, nodo en el cual también recibe una marca temporal. La información temporal en origen y destino se recoge en un archivo que sirve como documento de entrada para la plataforma basada en MATLAB, donde el mecanismo de recepción (*RCV mechanism*) ha sido integrado. Este mecanismo lleva a cabo las siguientes funciones: Detección de pérdidas de paquetes de estimación, determinación de los intervalos de confianza, proceso de filtrado de las muestras temporales y traslación de dichas muestras temporales a estimación de ancho de banda. La Fig. 1 muestra un esquema de las dos partes de que consta el proceso junto con el pseudo-código ejecutado.

V. RESULTADOS DE SIMULACIÓN

Tal y como se ha explicado en secciones anteriores, las métricas de interés que requieren un mayor rigor en el proceso de integración de QMoES en RUBENS son la *Precisión* y el *Tiempo de Estimación*. RUBENS precisa de un *Tiempo de Estimación* pequeño para reaccionar de forma instantánea en caso de que un cierto enlace extremo a extremo experimente una degradación de la QoE durante la provisión de un determinado servicio. La *Precisión* es también necesaria para determinar los recursos disponibles en caso de que una nueva sesión o servicio sea solicitado.

La Fig. 2 representa el error relativo medio cometido (la *Precisión* propiamente dicha) únicamente para el tráfico de estimación sectorizado, dado que es el que presenta un mejor rendimiento. Se han considerado las mismas situaciones de congestión media y elevada en función del número de paquetes por tren (eje de abscisas). El número de paquetes por tren es realmente importante en métodos PRM, dado que determina la intrusividad del método de estimación. Los intervalos de confianza han sido establecidos al 95%. Puede apreciarse que el error relativo no excede el 10% para niveles de congestión media. Para una congestión elevada, las configuraciones de 175 y 200 paquetes de estimación por tren presentan un buen rendimiento con un error relativo por debajo del 15%, de modo que los requerimientos de RUBENS son satisfechos en términos de *Precisión*. El *Tiempo de estimación* medio de una medida son 2,301 segundos. Este resultado es también esperanzador, dado que el método de estimación puede proporcionar una estimación de BW al SGP de RUBENS de forma cuasi-inmediata y habilitar a la arquitectura para reaccionar a degradaciones repentinas de QoE en tiempo real. Como se ha explicado en el capítulo III, la *Intrusividad* no es un parámetro tan crítico como los otros dos vértices del llamado "triángulo de compromiso" [11], *Precisión* y *Tiempo de Estimación*.

VI. CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO

Este trabajo introduce QMoES, una herramienta activa de estimación PRM basada en tasas de generación de tráfico variable. Los resultados de simulación, muestran que QMoES presenta valores adecuados en términos de *Precisión* y *Tiempo de estimación*, lo que permite validar la herramienta para la infraestructura RUBENS. La

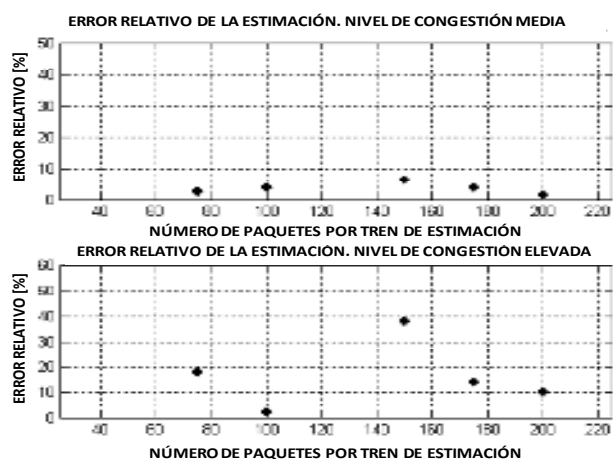


Fig. 2. Error relativo (*Precisión*) para niveles de congestión media y elevada y una distribución de paquetes de trenes sectorizada.

plataforma, basada en OPNET y MATLAB, tiene un diseño modular.

La evaluación de trabajos recientes muestra que las herramientas de estimación de ancho de banda están todavía lejos de presentar un rendimiento óptimo dada la naturaleza contradictoria de las tres métricas: una herramienta que realice medidas eficientes, precisas y no intrusivas sigue siendo a día de hoy un reto.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Proyecto CPUFLIPI (MICINN TIN2010-17298), el Proyecto MBACToIP, de la Agencia I+D del Gobierno de Aragón e Ibercaja Obra Social y por la Cátedra Telefónica de la Universidad de Zaragoza.

REFERENCIAS

- [1] (2009) RUBENS project website. [Online]. Available: http://wiki-rubens.celtic-initiative.org/index.php/Main_Page.
- [2] M. Jain and C. Dovrolis, "Ten fallacies and pitfalls in end-to-end available bandwidth estimation," in Proc. ACM IMC, 2004, pp. 272-277.
- [3] L. Lao, C. Dovrolis, M.Y. Sanadidi, "The Probe Gap Model can Underestimate the Available Bandwidth of Multihop Paths," in ACM SIGCOMM CCR, 2006, vol. 36, no.5. pp. 29-34.
- [4] J. Strauss, D. Katabi, F. Kaashoek, "A Measurement Study of Available Bandwidth Estimation Tools", in Proc AMC IMC SIGCOMM 2003.
- [5] J. Navratil and R. L. Cottrell, "ABwE: A practical approach to available bandwidth," in Proc. of 4th PAM Workshop 2003.
- [6] C.D. Guerrero, M.A. Labrador, "Traceband: A fast, low overhead and accurate tool for available bandwidth estimation and monitoring," Journal of Computer and Telecommunications Networking, vol.54, no. 6, pp.977-990, Apr. 2009.
- [7] C. D. Guerrero, M. A. Labrador, "On the Applicability of Available bandwidth estimation techniques and tools," Journal of Computer Communications. Vol. 33, no.1, pp. 11-22, Jan. 2010.
- [8] J. Strauss, D. Katabi, and F. Kaashoek, "A Measurement Study of Available Bandwidth Estimation Tools," in Pror. IMC, 2003, pp.39-44.
- [9] B. Melander, M. Bjorkman, and P. Gunningberg, "Regression-based available bandwidth measurements," in Proc. SPECTS 2002.
- [10] "A scheme for measuring subpath available bandwidth," in Proc. Of IEEE LCN 2009, pp.1095-1101.
- [11] J.I. Aznar, "Estimación Extremo a Extremo de Ancho de Banda Disponible para Redes de Alta Capacidad: Implementación y Evaluación de Herramientas," Tesis de Máster, Centro Politécnico Superior, Zaragoza, Spain, Sep. 2010.