

SISTEMA MULTIAGENTE DE MEDIDAS ACTIVAS E2E

José M^a Saldaña Medina, Julián Fernández-Navajas, José Ruiz-Mas, Eduardo A. Viruete Navarro,
Luis Casadesus Pazos, José Ignacio Aznar-Baranda
Email {jsaldana, navajas, jruiz, eviruete, jiaznar}@unizar.es
Grupo de Tecnologías de las Comunicaciones (GTC) – Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)
Universidad de Zaragoza
Ed. Ada Byron, C/ María de Luna nº 1, 50018 Zaragoza (España)
Tlf: (+34) 976 76 1963 – Fax: (+34) 976 76 2111

Abstract- Se presenta un sistema multiagente distribuido para la realización sistemática de medidas extremo a extremo en redes IP. El sistema permite hacer el seguimiento de parámetros de Calidad de Servicio (*Quality of Service, QoS*) como ancho de banda, retardo, variación del retardo (*jitter*) o tasa de pérdidas. Para las estimaciones se utilizan ráfagas de paquetes UDP de diferentes tamaños y con distinto espaciado entre paquetes. El sistema está compuesto por un agente maestro y varios esclavos. El maestro se encarga de registrar los esclavos y enviarles los *test* que deberán realizar entre ellos. Los esclavos son los encargados de enviar y recibir las ráfagas, medir los retardos y enviarlos al maestro. El sistema se integra en una plataforma de Telefonía sobre IP (*Telephony over IP, ToIP*) para la que se ha implementado un Control de Admisión de Llamadas (*Call Admission Control, CAC*) basado en las medidas de QoS proporcionadas por los agentes.

I. INTRODUCCIÓN

El rápido crecimiento de Internet y el incremento de la potencia de las computadoras han hecho que cada día aumente el número de aplicaciones que utilizan la red. En este sentido se puede destacar la aparición de nuevos servicios multimedia en tiempo real como VoIP (*Voice over IP*), la videoconferencia, la televisión sobre IP o la telemedicina. Estas nuevas aplicaciones en tiempo real emplean mayor ancho de banda y necesitan un comportamiento fiable respecto al retardo para brindar un servicio con buena calidad.

Por ello, para un proveedor de servicios es importante monitorizar la red para conocer de antemano si podrá soportar el lanzamiento de un nuevo servicio. La monitorización puede llevarse a cabo mediante medidas de parámetros extremo a extremo (*End-to-end, E2E*) o nodo a nodo, a partir de los componentes de la red, accesibles únicamente al operador. Estas medidas pueden ser pasivas, que se obtienen observando el tráfico, o activas [1], que introducen paquetes en la red y comprueban el servicio obtenido.

Los parámetros que condicionan en mayor medida la Calidad de Servicio (*Quality of Service, QoS*) para aplicaciones multimedia en tiempo real son la capacidad, el ancho de banda disponible, el retardo, la variación del retardo y la tasa de pérdidas [2].

El objetivo de este trabajo es construir una herramienta orientada al estudio sistemático de comunicaciones de tráfico multimedia en tiempo real E2E, buscando la automatización de tareas. Esta herramienta permite la estimación de las prestaciones de Internet y sus rutas E2E, usando UDP (*User Datagram Protocol*) para la realización de medidas que

permiten estimaciones de parámetros de QoS. Todo ello encaminado a la integración dentro de una plataforma de Telefonía sobre IP (*Telephony over IP, ToIP*), en la que se encuentra trabajando nuestro grupo de investigación.

Para la presentación de este trabajo, hemos organizado el artículo de la siguiente forma: La sección II presenta la situación actual de las medidas de QoS. La sección III expone la arquitectura del sistema y su modo de funcionamiento. En la sección IV se describe el entorno en el que se ha implementado el sistema. La última sección detalla las conclusiones de este trabajo.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

Para cuantificar las exigencias de QoS de los servicios en tiempo real es necesario disponer de herramientas fiables [3], que pueden ser clasificadas en dos grandes grupos: E2E y centralizadas. Las primeras se basan en la obtención de datos desde los extremos de la red, considerando a la misma como una caja negra. Por el contrario, las segundas utilizan información obtenida dentro de la propia red, como son las estadísticas de los *router*, para cuantificar los parámetros de QoS. Se trata de dos puntos de vista complementarios, el del usuario final que no conoce la red y el del operador de red que posee toda la información de la misma.

En la actualidad, los usuarios finales de Internet disponen de los populares *test* de velocidad del acceso [4, 5] para la realización de medidas contra un servidor geográficamente cercano. Sin embargo, estos *test* no son del todo útiles para servicios en tiempo real porque la información multimedia fluye entre usuarios, no a través de un servidor central. Por ello, si lo que se pretende es la realización de medidas E2E para estimar los parámetros de QoS en los enlaces entre usuarios, son más ventajosas soluciones como la arquitectura de medidas propuesta en el proyecto AQUILA [6]. Dando un paso más, y para no depender de una arquitectura específica, la solución presentada en este artículo se basa en la realización de medidas entre agentes siguiendo el paradigma maestro-esclavo [7]. En ella, un nodo maestro se encarga de enviar a los esclavos los *test* a realizar, y recolectar las medidas una vez que las hayan llevado a cabo.

III. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

La arquitectura propuesta consiste en un sistema multiagente para el estudio sistemático de redes de forma automática. Se trata de una herramienta capaz de realizar medidas E2E entre usuarios mediante el envío de varias

secuencias de ráfagas de tráfico UDP. Este método ya ha sido ampliamente estudiado tanto en la literatura [8, 9] como en estudios realizados por nuestro grupo [10]. Permite hacer un seguimiento de parámetros de QoS, que nos indicarán si en la red se ha efectuado una provisión adecuada de los recursos para garantizar, con una probabilidad alta, el funcionamiento de los servicios. Para la realización de estas medidas se crearán *test* descritos por el gestor del sistema. Un *test* básico se describe a partir del número de ráfagas a enviar, el tiempo entre ráfagas, el número de paquetes por ráfaga, el tiempo entre paquetes, su tamaño y el origen y destino del *test*. De este *test* se obtiene el tiempo de envío y recepción de cada paquete, así como el orden de llegada. Cada *test* podrá repetirse especificando la frecuencia de realización entre dos fechas determinadas. En la Fig. 1 se presentan los elementos del sistema, que se comunican a través de una red IP.

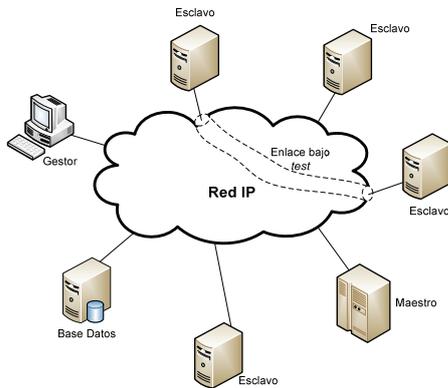


Fig. 1. Elementos del sistema.

Para la realización de las medidas se propone una arquitectura distribuida inspirada en los modelos multiagente, buscando la automatización de las tareas. La arquitectura se basa en agentes maestros y esclavos, que se comunican por medio de mensajes XML.

A. Elementos del sistema

El sistema distribuido dispone de un **gestor**, desde el que se controlan los demás elementos del sistema. También se define una **base de datos** en la que se almacenan los resultados de los *test*.

El **maestro** tiene las siguientes responsabilidades: ofrece la posibilidad de crear y guardar nuevos *test*; mantiene una lista actualizada de los esclavos registrados y disponibles en el sistema mediante el recibo de mensajes de registro y disponibilidad de los esclavos; envía los *test* a los esclavos origen; recibe los resultados de los *test* desde los esclavos destino; mantiene la integridad de la definición de los *test* y los resultados ante fallos inesperados del sistema; mantiene actualizado el estado de los *test* programados.

La tarea principal del **esclavo** es lanzar *test* contra otro esclavo, realizar las medidas y enviar los resultados al maestro. Se comporta como origen o destino para los *test*, determinando el papel que le corresponde según la descripción del *test*. Puede actuar concurrentemente como origen para unos *test* y destino para otros.

B. Descripción de un test

Un *test* consiste en una secuencia de ráfagas de paquetes UDP de tamaño variable desde el agente esclavo origen al

esclavo destino, que mide, almacena y envía los resultados al maestro. Se puede observar en la Fig. 2.

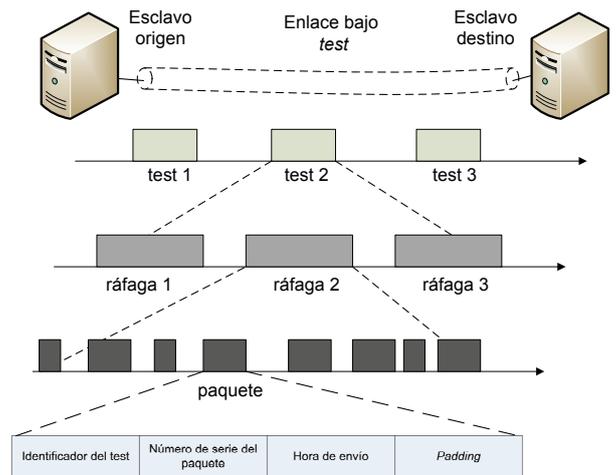


Fig. 2. Formato del *test* y estructura de un paquete.

Los *test* se definen por los siguientes atributos:

- Identificador.
- Dirección IP del agente origen que envía los paquetes.
- Puerto de origen por el que se sincroniza con el destino para iniciar un *test*.
- Dirección IP del agente destino que recibe los paquetes y envía los resultados al maestro.
- Puerto de destino por el que se sincroniza con el origen para iniciar un *test*.
- Frecuencia del *test*.
- Fecha de inicio.
- Fecha de fin.
- Número de ráfagas a lanzar.
- Número de paquetes por ráfaga.
- Tamaño de cada paquete.
- Tiempo entre ráfagas.
- Tiempo entre paquetes.

El campo de datos de los paquetes UDP tendrá el formato que aparece en la Fig. 2. La longitud mínima del paquete a enviar corresponde al tamaño que permita incluir esos campos. El campo *padding* contiene bits aleatorios para completar el tamaño definido por el usuario si es necesario.

C. Funcionamiento general

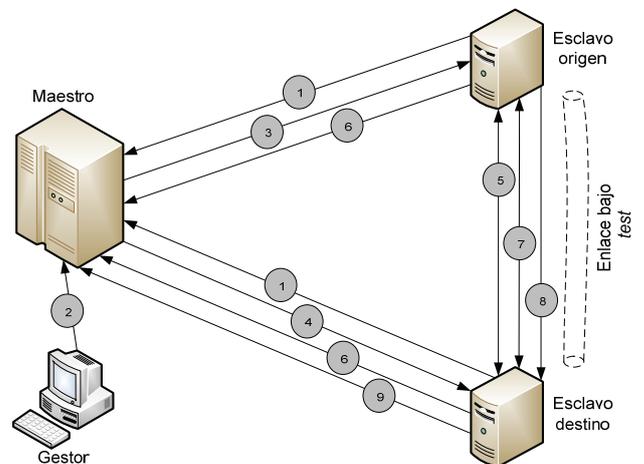


Fig. 3. Funcionamiento general del sistema.

En primer lugar se debe instalar el agente maestro, configurando el puerto usado para comunicarse con los agentes esclavos. Posteriormente se instala la aplicación esclavo en las máquinas correspondientes, configurando la dirección IP y el puerto por el que registrarse en el maestro.

El sistema consta de una serie de comunicaciones, que se etiquetan cronológicamente en la Fig. 3 y se detallan en los siguientes apartados.

Fase de registro

El registro (1) consiste en un mensaje que contiene la dirección IP y puerto por el que escucha el esclavo. Por esa dirección se recibirán del maestro los *test* a realizar. Una vez que un esclavo se ha registrado, el gestor puede usarlo para nuevos *test*. Los esclavos deben enviar un mensaje de disponibilidad al maestro cada cierto tiempo para que pueda mantener la lista de esclavos disponibles (Fig. 4). Los esclavos se pueden ir añadiendo progresivamente, según la red que se desee estudiar.

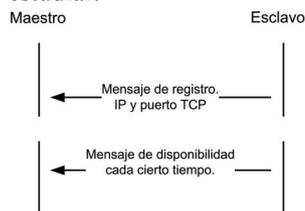


Fig. 4. Mensajes de registro y disponibilidad.

Fase de envío

El gestor puede diseñar un nuevo *test* con la ayuda de una interfaz visual. También puede usar y modificar algún *test* ya creado. El *test* se envía al maestro (2), que lo almacena y lo envía a los esclavos origen (3) y destino (4). Éstos comprueban en primer lugar que el *test* es realizable, estableciendo una comunicación TCP y UDP entre ambos (5). La confirmación de *test* realizable es enviada por ambos al maestro (6). Este proceso se puede ver en la Fig. 5.

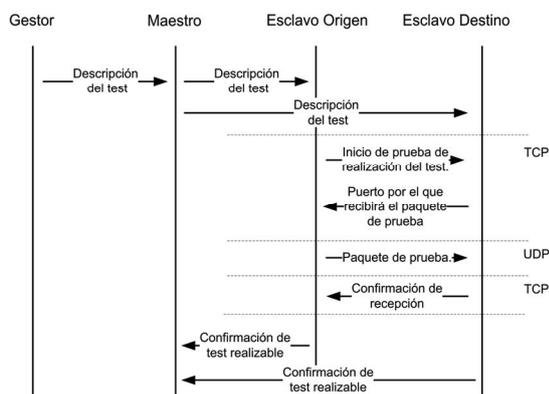


Fig. 5. Envío del *test*.

Fase de sincronización

En el momento correspondiente, el esclavo origen iniciará en la ejecución de los *test* programados. Justo al comienzo de cada *test*, el esclavo origen inicia un proceso de sincronización (7). Durante este proceso el origen informa al destino del comienzo de un *test*, el destino informa del puerto por el que va a escuchar, y por último calculan el *offset* de los relojes utilizando el protocolo NTP (*Network Time Protocol*) [11]. La utilización de dicho protocolo para la sincronización nos permite realizar correctamente las medidas de retardo. Los esclavos sincronizan sus relojes para

cada *test* individualmente, calculando el *offset* de sincronización, que irá incluido en el fichero de resultados.

Fase de realización del test

En esta fase se envían las ráfagas (8) entre esclavos (Fig. 6). Como ya se ha comentado, el esclavo destino es el encargado de anotar los tiempos de llegada y conformar el fichero de resultados, enviándoselo al maestro (9). Por cada paquete se obtendrá el tiempo de envío y el tiempo de llegada, además del número de serie de la ráfaga y el número de paquete. Con estos datos se puede estimar el ancho de banda [12], el retardo, la variación del retardo y la tasa de pérdidas.

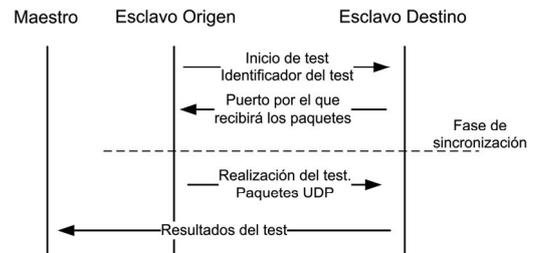


Fig. 6. Sincronización y realización del *test*.

Las comunicaciones entre la interfaz gráfica, el maestro y los esclavos se realizan mediante mensajes XML. Esto permite empaquetar de forma sencilla los mensajes que se intercambian en el sistema utilizando un estándar del W3C [13]. XML permitirá agregar nuevas etiquetas a los mensajes aunque el sistema esté ya en funcionamiento. Además nos posibilita también que un tercero pueda desarrollar un nuevo agente compatible con el sistema, ya que es un metalenguaje estándar. Todos los *tag* de los diferentes mensajes se encuentran en el *tag* <stream>. Los posibles mensajes a intercambiar son:

- Registro de esclavo
- Acuse de registro
- Disponibilidad
- Inicio de *test*
- Acuse de inicio de *test*
- Descripción de *test*
- Resultados
- Cancelación de *test*
- Error

Un ejemplo de ello se muestra a continuación. Vemos que un mensaje de registro de esclavo contiene la dirección IP del esclavo y el puerto por el que se harán las medidas:

```
<stream>
  <register>
    <host>123.123.123.123</host>
    <port>6666</port>
  </register>
</stream>
```

Los resultados de los *test* están formados por una cabecera, donde se identifica el *test* al que pertenecen los resultados, y un cuerpo donde están los resultados del tiempo de envío de los paquetes. Los resultados de los *test* que tienen definida una frecuencia de repetición se envían parcialmente desde el destino al maestro cada vez que termina una de las realizaciones.

Los atributos del encabezamiento de los resultados del *test* son: identificador del *test*; fecha y hora de inicio; fecha y hora de fin. En el cuerpo del resultado se contiene para cada paquete recibido: identificador del paquete (contiene un

número de secuencia de la ráfaga y un número de secuencia del paquete); hora de inicio; hora de fin.

D. Situaciones de excepción y recuperación del sistema

Se han definido diez situaciones de excepción, de las que el sistema se recupera automáticamente:

- El maestro no puede enviar el *test* al esclavo origen.
- El maestro no puede enviar el *test* al esclavo destino.
- El origen no puede verificar que puede realizar el *test*.
- El destino recibe el *test* por parte del maestro pero no recibe mensaje de prueba del origen.
- El destino marca el *test* como realizable pero no puedo comunicarlo al maestro.
- El origen no puede comenzar el *test*.
- Comienza el *test* y el destino deja de recibir paquetes.
- El destino no recibe la comunicación de inicio del *test* y ya su fecha sobrepasa la de inicio del *test*.
- El destino no puede enviar los resultados al maestro.
- El origen y destino dejan de funcionar.

En todos los casos se crea un registro de error, para facilitar al usuario su análisis. Los esclavos siempre notifican al maestro los errores. Para el correcto manejo de esas excepciones, se definen los estados en los que puede encontrarse un *test*: *Enviado*, *No enviado*, *Realizable*, *Realizable parcial*, *Pendiente*, *No realizable*, *Iniciado*, *Parcial*, *Incompleto*, *No realizado*, *Completado* y *Cancelado*.

IV. IMPLEMENTACIÓN EN UN ENTORNO CONTROLADO

Como se ha dicho en la introducción, el sistema está pensado para ser integrado en una plataforma de ToIP, dotada con un Control de Admisión de Llamadas (*Call Admission Control*, CAC) basado en medidas de QoS. El esquema se corresponde con el de una empresa con sucursales en múltiples países (Fig. 7). Sobre esta plataforma se han realizado las primeras pruebas del sistema.

En el centro de datos existe una centralita, y en cada sucursal hay un *gateway* VoIP y un agente local, además de los teléfonos IP. Los agentes consultan unas tablas de medidas de QoS, de tarifas telefónicas y del número de líneas libres y ocupadas del *gateway*, y toman las decisiones de CAC basándose en esa información. Los agentes intervienen en la señalización a través de un *proxy* SIP que tienen incluido, buscando que las llamadas sean cursadas por la mejor ruta en cuanto a QoS y costes.

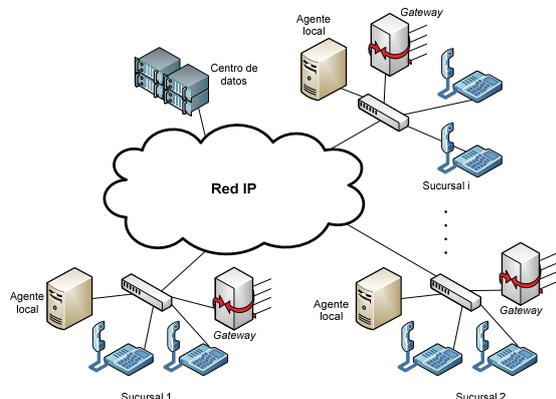


Fig. 7. Plataforma de ToIP.

La integración en la plataforma consiste en ubicar los esclavos dentro de los agentes locales, para así realizar medidas de QoS entre sucursales. El maestro se sitúa en el

centro de datos, y se encarga de rellenar las tablas de medidas que utiliza el sistema CAC.

Los resultados preliminares nos han permitido realizar medidas y estimaciones de capacidad, ancho de banda disponible, retardo, variación del retardo y tasa de pérdidas en escenarios con tecnologías ADSL, cable-módem y móviles, logrando configurar correctamente las tablas en función de las tecnologías correspondientes.

V. CONCLUSIONES

Se ha presentado la arquitectura de un sistema multiagente automático de toma de medidas para estimar parámetros de QoS, que permite realizar el seguimiento de los diferentes parámetros de calidad a lo largo del tiempo.

El sistema se ha integrado en una plataforma de ToIP sobre la que hay implementado un CAC basado en medidas de QoS. Las primeras pruebas realizadas sobre esta plataforma se han utilizado para completar el sistema CAC mediante la estimación de parámetros de QoS en escenarios que utilizan tecnologías ADSL, cable-módem y móviles.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado gracias al proyecto RUBENS (*Rethinking the Use of Broadband access for Experience-optimized Networks and Services*) del cluster europeo EUREKA CELTIC (código EU-3187 CP5-020), y al proyecto TSI-020400-2008-020 del subprograma AVANZA I+D del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

REFERENCIAS

- [1] T. Anjali, C. Scoglio, "TEMB: A Tool for End-to-End Measurement of Available Bandwidth in IP Networks," *Proceedings of IEEE ELMAR 2003*, Junio 2003.
- [2] S. M. Abdule, W. T. Chee, A. Mustaf, A. H. Abdalla, "Evaluation of an Efficient Approach to provide QoS to VoIP" *Proceedings 2nd Information and Communication Technology Seminar, ICTS 2006*.
- [3] E. Viruete, J. Fernández-Navajas, E. Macián, I. Martínez, J. García, J. Ruiz, "Análisis de métodos de estimación de la capacidad de accesos a Internet para aplicaciones en tiempo real". *Actas VI Jornadas de Ingeniería Telemática (JITEL)*, pp. 465-472, Septiembre 2007.
- [4] <http://www.isposure.co.nz/index.htm>, última visita 5/5/2009.
- [5] <http://www.speedtest.net/>, última visita 5/5/2009.
- [6] F. Strohmeier, H. Dörken, B. Hechenleitner, "AQUILA Distributed QoS Measurement", *Proc. COMOCON8*, pp. 177-185, 2001.
- [7] G. Nguengang, L. Hugues, D. Gaïti, "A Multi Agent System Approach for Self Resource Regulation in IP Networks", in D. Gaïti; G. Pujolle; E. S. Al-Shaer; K. L. Calvert; S. A. Dobson; G. Leduc; O. Martikainen, ed., 'Autonomic Networking', Springer, pp. 64-75, 2006.
- [8] H. Ningning, P. Steenkiste, "Evaluation and characterization of available bandwidth probing techniques" *Selected Areas in Communications, IEEE Journal*, vol.21 n.6, pp.879-894, Ago. 2003.
- [9] M. Jain y C. Dovrolis, "End-to-end available bandwidth: measurement methodology, dynamics, and relation with TCP throughput", *Proc. SIGCOMM '02*, Agosto 2002.
- [10] E. A. Viruete, J. Fernández-Navajas, E. Macián, I. Martínez, R. del Hoyo, J. García, "Analysis of Capacity Estimation Methods for Real-Time Applications in Internet Accesses", *V Annual IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, Enero 2008.
- [11] D. L. Mills, "Network Time Protocol Version 4 Reference and Implementation Guide". *Electrical and Computer Engineering Technical Report 06-06-01*, University of Delaware, Junio 2006.
- [12] R. Prasad, C. Dovrolis, "Bandwidth Estimation: Metrics, Measurement Techniques, and Tools", *IEEE Network*, vol 17, n° 6, pp 27 - 35, Noviembre/Diciembre 2003.
- [13] T. Bray, J. Paoli, C. M. Sperberg-McQueen, E. Maler, F. Yergeau. *Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Fifth Edition) W3C Recommendation 26 Nov. 2008*. <http://www.w3.org/TR/xml/>, última visita 30/4/2009.