

Monitorización de una red académica mediante Netflow

David López¹, Jorge E. López-de-Vergara^{1,2}, Luis Bellido¹, David Fernández¹

¹Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos, Universidad Politécnica de Madrid

ETSI Telecomunicación, Ciudad Universitaria 28040 Madrid

{lopezber, jlopez, lbt, david}@dit.upm.es

²Investigador visitante de la Universidad Autónoma de Madrid

Resumen

Actualmente, un aspecto clave tanto para usuarios como operadores de redes de comunicaciones es garantizar la calidad de servicio prestado en las redes de datos y servicios asociados. Para ello, es necesario realizar medidas que permitan comprobar que las redes están proporcionando el servicio contratado. Con el fin de caracterizar la calidad de servicio, numerosas iniciativas como IP Performance Metrics (IPPM) e IP Flow Information Export (IPFIX) definen métricas y arquitecturas que permiten a todas la partes implicadas llegar a un acuerdo sobre el nivel de calidad de servicio proporcionado y medir su cumplimiento. En el presente artículo se describe una arquitectura de monitorización basada en estas iniciativas, aplicadas en la monitorización de una red académica.

1. Introducción

Actualmente, existe en nuestra sociedad una demanda por conocer la calidad en los servicios de telecomunicaciones, ligada principalmente a la defensa de los derechos de los usuarios de estos servicios. Esto se debe en gran medida a la evolución experimentada por los servicios de telecomunicaciones en los últimos años, en los que se ha pasado de un modelo de servicio centrado en la telefonía hacia nuevos y diversos modelos y arquitecturas funcionales de provisión basadas en redes multiservicio. Esto hace más necesario el control sobre la calidad de servicio (QoS) que se ofrece, en un mercado con una gran diversidad de proveedores. Del mismo modo, para prestar servicios a los usuarios finales de manera ininterrumpida es fundamental una gestión eficaz de las redes de datos. En este contexto se han venido utilizando a lo largo del tiempo diversos dispositivos para obtener información referente al funcionamiento de los sistemas.

No obstante, existe un vacío importante en la monitorización de los parámetros de calidad de servicio: con el despliegue de nuevos servicios, como el transporte de voz sobre IP, adquiere cada vez una mayor relevancia el control de todos los factores que afectan al cumplimiento de los Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA) comprometidos; es en este punto en el cual las arquitecturas basadas en la caracterización de tráfico a través del análisis de los flujos establecidos pueden contribuir significativamente al cumplimiento de dichos SLAs.

IP Flow Information Export (IPFIX) [1] define un procedimiento estándar en la obtención de información referente a los flujos establecidos en conexiones basadas en TCP/IP. Dichos flujos se

definen como conjuntos de paquetes IP que atraviesan un punto de observación en un tiempo dado. Asimismo, IPFIX define los procedimientos necesarios para exportar dicha información y procesarla en dispositivos externos a la propia red.

En este artículo se desarrolla una arquitectura basada en las especificaciones de IPFIX para monitorizar diversos parámetros de calidad de una red. Para ello, primeramente se expone un método estándar de obtención de información referente al tráfico cursado en una red IP. En segundo lugar se definen brevemente el conjunto de métricas especificadas en el IETF. Posteriormente se propone un método de implantación de métricas de QoS basado en técnicas de análisis de flujos. Finalmente se presentan los resultados obtenidos en la experimentación de este método en una red académica así como futuras líneas de investigación.

2. IPFIX y Netflow

Netflow [2], tecnología desarrollada por CISCO Systems en 1996, permite mejorar la capacidad de encaminamiento de sus *routers*. Siguiendo la filosofía “encaminar una vez, conmutar muchas veces”, identifica los flujos establecidos entre máquinas con el fin de agilizar el encaminamiento de futuros paquetes IP. Esta tecnología ha sido incluida en la propuesta presentada recientemente por IPFIX [3].

Para un *router*, un flujo de datos está constituido por un conjunto de paquetes IP con una misma combinación de atributos (direcciones y puertos origen y destino, tipo de protocolo de transporte, tipo de servicio e interfaz de entrada) en un intervalo de tiempo. Cuando se detecta un nuevo flujo, Netflow guarda en la memoria interna la correspondencia entre el flujo y su interfaz de salida, de forma que para posteriores paquetes

pertenecientes a ese flujo no será necesario recurrir a consultas en sus tablas de encaminamiento, ahorrando de este modo, valiosos ciclos de CPU.

Precisamente, esta capacidad de los dispositivos de encaminamiento de obtener información referente a los flujos cursados puede ser aprovechada para medir y caracterizar el tráfico que atraviesa el *router* prácticamente en tiempo real (ver **Figura 1**), y ello de una manera convenientemente agregada facilita el análisis de la calidad de servicio como se detallará en subsiguientes apartados.

3. Monitorización de calidad de servicio

3.1. Métricas del grupo de trabajo IPPM

Con el fin de ocupar el vacío existente en la definición de métricas que especifiquen de una manera formal el rendimiento de redes IP, el IETF organizó, en el año 1998, un grupo de trabajo denominado *IP Performance Metrics* (IPPM) encargado de formalizar parámetros que permitieran tanto a usuarios como proveedores de red cuantificar el estado de sus servicios de red.

En el presente artículo se hará referencia a los conceptos definidos por IPPM y recogidos en la RFC 2330 [4] los cuales constituyen el marco general de referencia dentro de los cuales se circunscriben las métricas tal y como son definidas en RFCs posteriores según se indica más adelante.

De manera informal, se puede decir que existen ciertos factores que afectan a la percepción del usuario con respecto al rendimiento de los servicios telemáticos; variables como el retardo, ancho de banda, variación en el retardo (jitter) o pérdidas de paquetes degradan el rendimiento de los niveles superiores de transporte y aplicación, impidiendo alcanzar los niveles teóricos de transferencia de información.

Para cuantificar el nivel de degradación del servicio en una red IP, el grupo de trabajo IPPM, define las siguientes métricas:

- Métrica de retardo en un sentido (*One-way Delay Metric*) [5]: Define un conjunto de métricas para estimar el retardo unidireccional de tráfico.
- Métrica de pérdida de paquetes en un sentido (*One-way Packet Loss Metric*) [6]: Define un conjunto de métricas para estimar pérdidas de tráfico.
- Métrica de la variación del retardo de paquetes (*IP Packet Delay Variation Metric*) [7]: Define un conjunto de métricas para estimar la variación del retardo unidireccional.
- Métrica para medir conectividad (*IPPM metrics for measuring connectivity*) [8]: Define un

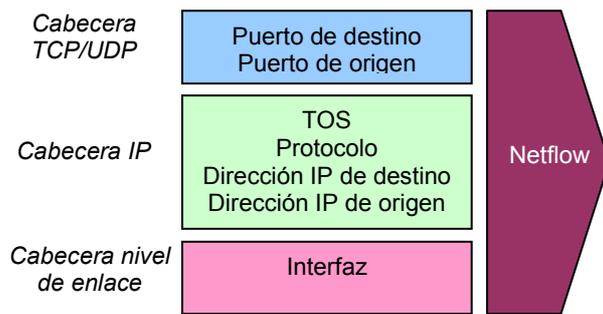


Figura 1. Información obtenida mediante Netflow

conjunto de métricas para estimar la conectividad entre redes.

- Métrica del retardo de ida y vuelta (*Round-trip Delay Metric*) [9]: Define un conjunto de métricas para estimar el retardo bidireccional de tráfico.
- Métrica de la capacidad de transferencia (*Bulk Transfer Capacity Metric*) [10]: Es el conjunto de métricas que estiman el ancho de banda efectivo alcanzado.
- Métrica de muestreo de patrones de pérdidas en un sentido (*One-way Loss Pattern Sample Metric*) [11]: Extiende las definiciones introducidas en [6].

Al mismo tiempo, IPPM define un conjunto de requisitos que las métricas han de cumplir a fin de asegurar la validez y repetibilidad de las medidas. Recomienda el uso de variables deterministas en lugar de aleatorias así como un método de muestreo basado en 3 niveles (ver **Figura 2**).

- **Métrica unitaria (*singleton metric*)**: se refiere a medidas “atómicas”, aunque en ellas pueden intervenir medidas sobre distintos paquetes relacionados entre sí. Por ejemplo, una medida puntual de la capacidad de transferencia entre dos sistemas finales.
- **Métrica muestral (*sample metric*)**: es una métrica derivada de una métrica unitaria tomando distintas instancias de ella. Por ejemplo, se podría definir una métrica muestral del retardo unidireccional de un sistema final a otro como las medidas realizadas durante una

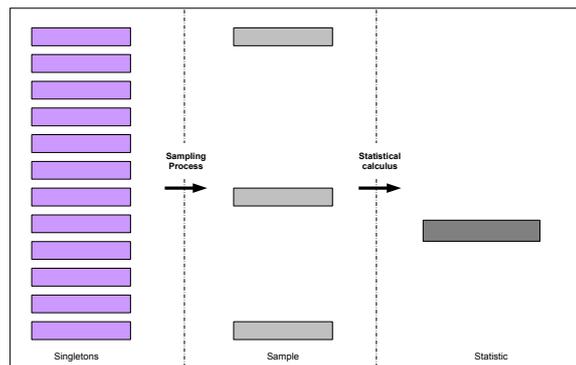


Figura 2. Proceso de muestreo

hora, donde los intervalos entre cada medida siguen una distribución de Poisson de media igual a 1 segundo.

- **Métrica estadística (statistical metric):** es una métrica derivada de una métrica muestral a partir del cálculo de alguna estadística sobre los valores definidos por la métrica unitaria sobre la muestra. Por ejemplo, una métrica estadística sería la media de todos los valores del retardo unidireccional de la muestra definida en el ejemplo anterior. Además de los valores medios suelen ser relevantes, percentiles, valores mínimos o máximos, o percentiles inversos (fracción de valores respecto a un umbral).

Otra definición importante se refiere a la necesidad de especificar de forma clara el tipo de tráfico al que se refiere una métrica, ya que los dispositivos de las redes pueden dar un tratamiento distinto, por ejemplo, a distintos protocolos. Se trata del término “packet of type P”, donde P se puede definir explícitamente, parcialmente, o se puede usar de forma genérica, dependiendo del contexto. Las denominaciones de las métricas incluirán el tipo específico de paquete o la frase “type-P”. Así, se puede hablar de “retardo unidireccional type-DNS” o “variación del retardo de paquetes type-HTTP”.

3.2. Interrelación entre IPPM e IPFIX

Si bien el grupo de trabajo IPPM define claramente aquellas métricas útiles en la caracterización de calidad de servicio QoS, no precisa el modo de obtención de dichas métricas.

Numerosas iniciativas como RMON [12], RTFM [13], PSAMP [14], Sflow [15] o IPFIX abordan la implementación práctica de métodos de adquisición de medidas de calidad de servicio (ver **Figura 3**).

De dichas iniciativas, RMON carece de un conjunto estándar de MIBS que satisfagan los requisitos tal y como se especifica en [4], impidiendo la interoperabilidad entre distintas implementaciones.

De manera análoga a las iniciativas basadas en análisis de flujos como IPFIX, existen otras aproximaciones complementarias basadas en

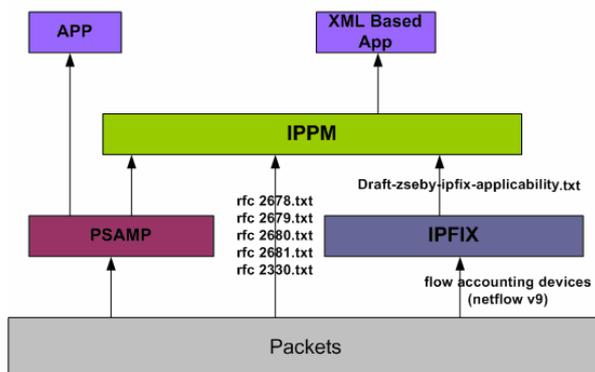


Figura 3. Relación entre los grupos de trabajo del IETF

muestreo de tráfico como es el caso de *Packet Sampling* (PSAMP), cuyo objetivo es proporcionar mecanismos de análisis sin necesidad de capturar todo el tráfico, permitiendo de este modo su escalabilidad a las actuales redes Gigabit de datos. Sin embargo, a diferencia de IPFIX, esta tecnología no está implementada actualmente en los *routers*.

Por otra parte, existen métodos activos de caracterización del estado de los enlaces de datos, los cuales se basan en la generación de tráfico sintético para estimar los diferentes parámetros. Es precisamente esta propiedad intrusiva la que puede llegar a limitar su escalabilidad en grandes entornos.

Mediante el empleo de técnicas pasivas de análisis como IPFIX se puede disponer de una arquitectura no intrusiva e interoperable para calcular métricas de calidad de servicio. El hecho de ser un método pasivo permite disponer de numerosos puntos de medida sin que el tráfico de datos se vea afectado, mientras que el hecho de ser interoperable contribuye a que diversos operadores puedan colaborar entre sí para recabar información relacionada con sus enlaces y el tráfico intercambiado entre ellas.

Otra propiedad inherente a las técnicas de análisis basadas en flujos (IPFIX) es la de caracterizar el tipo de tráfico cursado por los usuarios finales, lo cual facilita el desarrollo de metodologías de estimación de QoS orientadas a la percepción del usuario de los servicios de red.

4. Monitorización de una red académica mediante Netflow

Con el fin de verificar experimentalmente la viabilidad de las técnicas de caracterización de tráfico basadas en los flujos establecidos y su explicitación en métricas IPPM, se ha desplegado una infraestructura de adquisición de datos en una red real en producción, en este caso la de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid (ETSIT-UPM). Dicha red ofrece servicios de datos a los diversos departamentos y grupos de investigación, interconectando la red interna a RedIRIS, la red nacional de investigación académica.

Como muestra la **Figura 4**, la red se compone de varios edificios interconectados mediante una red Gigabit. A nivel lógico las redes se dividen en diferentes redes locales virtuales (VLAN's) con un *router* central que encamina el tráfico entre ellas.

4.1. Arquitectura de monitorización basada en IPFIX

Según establecen las especificaciones de IPFIX [4], la infraestructura de monitorización se basa en los siguientes elementos (ver **Figura 5**):

- Dispositivo IPFIX: Router CISCO 7201.

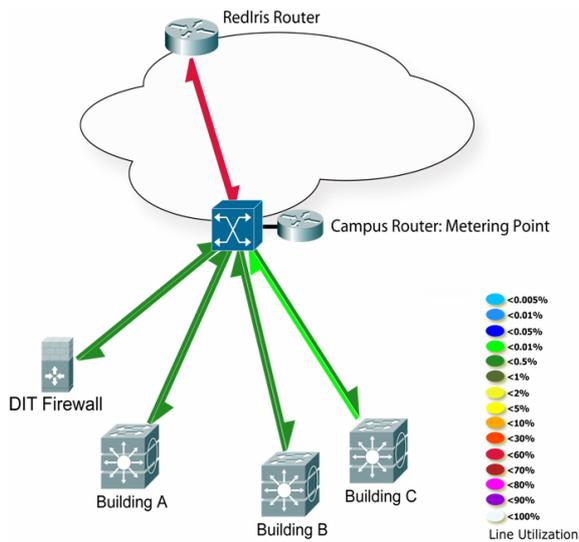


Figura 4. Red académica

- Puntos de observación: VLAN's asociadas a cada rango de red IP.
- Protocolo de medida: Netflow.
- Protocolo de exportación: Netflow.
- Recolector: Sistema Linux.
- Aplicativo en la parte del recolector: flow-tools [16].

A pesar de la gran cantidad de tráfico cursado diariamente, la información exportada hacia el colector es procesada por equipos convencionales, generando un total aproximado de unos 200 MBytes diarios. Conviene resaltar que, si bien es cierto que el nivel de detalle que podría obtenerse mediante técnicas de inspección de tráfico sería mayor, para un mismo volumen de tráfico se requeriría una mayor cantidad de recursos tanto de memoria como de procesador.

4.2. Módulos de medición adicionales

Aunque la caracterización del tráfico según los flujos generados es una forma eficiente de monitorización, para una correcta gestión de la red en su totalidad es necesario garantizar la integridad de todos los factores implicados asegurando la prestación ininterrumpida de los servicios contratados. Por ello es preciso ampliar el modelo propuesto en IPFIX con módulos adicionales que,

basados en SNMP, permitan asegurar la calidad de funcionamiento del sistema en su conjunto, implementando las funciones definidas en la recomendación M.2301 de la UIT-T [17].

4.3. Módulos de información y aplicaciones

Con el fin de proporcionar al usuario final una visión integrada de los diversos elementos de red, se han desarrollado un conjunto de módulos que permiten una mejor interpretación del estado de la red (ver Figura 5).

- **Módulo de Estadísticas de Tráfico:** Programado en Perl, suministra información referente a los niveles 2 y 3, como puede ser cantidad de tráfico encaminado en cada VLAN, rangos de direcciones más solicitadas, etc.
- **Módulo de Estadísticas de Servicio:** Programado en Perl, gestiona información relacionada con niveles superiores como distribuciones de tráfico agregadas según protocolos o unidades organizativas.
- **Módulo de Seguridad:** Su misión es la monitorización de patrones de tráfico de acuerdo con reglas previamente predefinidas. Para ello se ha estudiado [18], donde se propone un método de detección de tráfico anómalo basado en el análisis de flujos.
- **Módulo Visual:** Basado en herramientas XML, permite integrar en un único portal todas las vistas del sistema, proporcionando un único punto de acceso a la información disponible.
- **Módulo de Calidad de Servicio:** Proporciona información relacionada con el rendimiento tanto de la propia red como de los servicios ofrecidos a la comunidad. Basado en las métricas de IPPM presentadas anteriormente calcula de una forma normalizada las métricas de calidad de servicio, y sirve de base para los resultados obtenidos tal y como se expone más adelante.

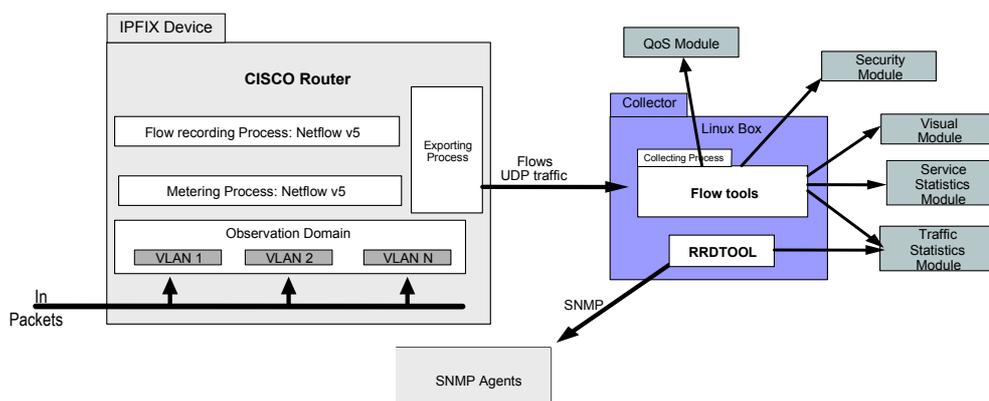


Figura 5: Infraestructura de monitorización

5. Resultados obtenidos en la estimación métricas de QoS

A continuación se incluyen algunos de los resultados obtenidos mediante la información suministrada por los módulos previamente expuestos, principalmente el módulo de calidad de servicio.

5.1. Estimación del ancho de banda efectivo

Basado en las medidas temporales registradas en los flujos obtenidos, es relativamente sencillo estimar el ancho de banda efectivo de cada conexión establecida según se define en [10]. Considerando la cantidad de octetos que componen un flujo y el lapso de tiempo registrado en el punto de medida entre el comienzo y el final de dicho flujo es posible calcular la velocidad obtenida mediante:

$$BTC = \frac{\text{Octetos}}{\text{Intervalo}} \quad (1)$$

Como se muestra en la siguiente tabla, se comparan diferentes herramientas de caracterización del ancho de banda; Iperf [19]: una herramienta activa de estimación; Ethereal [20]: un analizador de paquetes IP; y finalmente Netflow. Los resultados obtenidos en todas ellas son similares siendo Netflow algo más optimista.

Tabla 1. Estimación de capacidad de transferencia

Kbytes **	Netflow *	Ethereal *	Iperf *
1.135	223,55	216	215
16.451	222,95	216	216
5.170	207,64	214	205

** Cantidad de tráfico total

* (Kbits/s)

Una de las ventajas que Netflow ofrece en este tipo de mediciones es el hecho de no generar tráfico extra, mientras que Iperf al basarse en medidas efectuadas con tráfico artificial puede llegar a afectar negativamente al tráfico cursado en ese momento. Por el contrario, cualquier método pasivo de caracterización de tráfico está sujeto a la existencia real de tráfico en el momento de la medida, lo cual puede no ser cierto en determinados escenarios.

5.2. Estimación del tiempo de respuesta

Para estimar los tiempos de respuesta de los servicios internos existentes en la red es necesario

tener en cuenta aquellos flujos originados en el exterior cuyo destino sean servicios ofrecidos en la red interna, de acuerdo con [9]. Una vez conocido el instante en que se produce la llegada de la petición y el instante en que la respuesta abandona la red es posible estimar, con una precisión del orden de milisegundos, el tiempo total de respuesta del sistema en su conjunto (red + servidor + aplicación), (ver **Figura 6**).

Con estas métricas concretas se pueden responder fácilmente cuestiones como en qué franja horaria se hace un mayor uso de los recursos, quién hace un mayor uso de ellos y cómo responden dichos recursos.

5.3. Estimación de retardo unidireccional

Tal y como se define en [5], las métricas de retardo unidireccional (*One way delay metric*) pueden ser útiles para determinar si la infraestructura de red se encuentra dentro de los márgenes de tolerancia impuestos por los servicios denominados de tiempo real como la voz sobre IP (VoIP) o la videoconferencia. Asimismo el retardo unidireccional resulta crítico en el ancho de banda máximo alcanzable en las actuales redes Gigabit.

Un posible método de estimación de esta métrica consiste en disponer de dos o más dispositivos IPFIX, normalmente *routers*, con la misma base de tiempos ya sea mediante sistemas GPS o mediante protocolos como NTP, siendo el primero capaz de asegurar precisiones del orden de nanosegundos y del orden de milisegundos el último. De este modo es posible inferir el tiempo transcurrido entre el primer punto de medida y el último, definiendo de este modo un estimador directo del retardo unidireccional (ver **Figura 7**).

$$OWD = t_x^i - t_x^j \quad (2)$$

La expresión definida en (2) indica que dado un paquete perteneciente al flujo y situado en la posición x (normalmente la inicial y la final), se puede obtener el retardo restando las marcas temporales obtenidas para dicha posición x a su paso por los puntos de observación i y j .

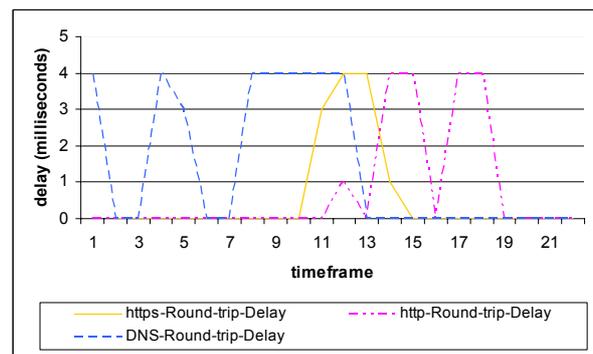


Figura 6: Métricas de retardos en el Campus

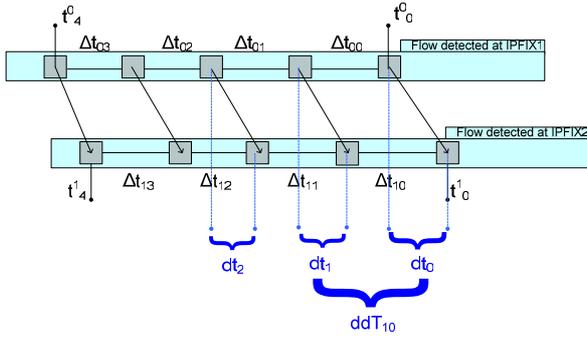


Figura 7: Método estimación variación del retardo

En la Tabla 2 se muestran diversas muestras de tráfico UDP generado mediante Iperf, así como los tiempos asociados a cada paso del tráfico por dos puntos de medida (*routers* CISCO) diferentes en los puntos iniciales y finales del flujo. La métrica se ha obtenido ponderando las métricas unitarias correspondientes a los retardos experimentados por los paquetes iniciales y finales respectivamente. A tenor de los resultados obtenidos se observa que el retardo unidireccional es prácticamente constante, independientemente del volumen de tráfico UDP cursado.

Tabla 2. Estimación retardo unidireccional

Iperf octetos	IPFIX0		IPFIX1		Métrica OWD (ms)
	t_0^i (s)	t_n^i (s)	t_0^f (s)	t_n^f (s)	
19.474	26,30	38,30	26,38	38,38	76
178.262	22,55	32,67	22,62	32,74	79
590.212	29,39	33,24	30,15	33,31	76
200.732	35,98	46,34	36,05	46,41	77

5.4. Estimación de la variación del retardo unidireccional.

Mediante técnicas de análisis de flujos es factible definir estimadores aproximados que permitan cuantificar la variación en el retardo unidireccional (o jitter) “ipdv” tal y como se define en [7]. La variación en el retardo es una variable a tener en consideración tanto a la hora de dimensionar los equipos de encaminamiento intermedios como las aplicaciones denominadas de tiempo real en las cuales el usuario es especialmente sensible a los efectos producidos por dicha variación.

Continuando con la arquitectura propuesta en el apartado 5.3, cuando un router detecta el paso de un conjunto de paquetes pertenecientes al mismo flujo (ver **Figura 7**), se generan dos marcas de tiempo, una correspondiente al instante de llegada del primer paquete y otra a la salida del último paquete perteneciente al flujo. De este modo es posible definir:

$$Intervalo_i = t_n^i - t_0^i \quad (3)$$

Según se define en [7], la métrica unitaria que mide la variación en el retardo viene dada por la expresión:

$$ddT_{j,i} = dT_j - dT_i \quad (4)$$

Considerando como caso particular de (3) aquellas métricas unitarias correspondientes a un flujo dado que verifican:

$$ddT_{n,0} = dT_n - dT_0 \quad (5)$$

Esto es, teniendo en cuenta las variaciones de retardo entre el primer paquete del flujo y el último paquete se llega a la expresión simplificada:

$$\begin{aligned} ddT_{n,0} &= (t_n^1 - t_n^0) - (t_0^1 - t_0^0) = \\ &= (t_n^1 - t_0^1) - (t_n^0 - t_0^0) \end{aligned} \quad (6)$$

Sustituyendo en (6) la definición de intervalo (3), se obtiene la expresión simplificada:

$$ipdv \cong Intervalo_1 - Intervalo_0 \quad (7)$$

De este modo, se dispone de una estimación de la variación del retardo (ipdv) de los paquetes que componen un flujo dado. Es importante resaltar que este método de estimación de ipdv no necesita mecanismos de sincronización temporales entre equipos de medida.

6. Conclusiones y trabajos futuros

Dentro de los grupos involucrados en el desarrollo de Internet, existe un creciente interés en la prestación de servicios según unas condiciones previamente acordadas (SLA's). IPPM constituye el marco de referencia en el cual tanto proveedores como clientes pueden, gracias a un conjunto de métricas comunes, llegar a establecer acuerdos de calidad de servicio y verificar el correcto cumplimiento de los mismos. Conjuntamente, IPFIX define un procedimiento estándar para la captura y gestión de información referente al tráfico en redes de datos basada en los flujos generados.

Como se ha mostrado en el presente artículo, IPFIX puede servir como una herramienta capaz de implementar en la práctica muchas de las métricas definidas en IPPM, concretamente el ancho de banda efectivo, el tiempo de respuesta, el retardo unidireccional y la variación del retardo unidireccional. Para ello se ha desarrollado una infraestructura acorde con las especificaciones fijadas por IPFIX e IPPM sobre una red en producción, sirviendo para futuros experimentos relacionados con la prestación de calidad de servicio en redes IP.

Como posibles trabajos futuros cabe considerar puntos de medida capaces de identificar la secuencia de llegada de los paquetes pertenecientes a un flujo dado con el fin de proporcionar mecanismos de estimación de reordenación de paquetes o pérdida de los mismos.

Otra posible ampliación del estudio llevado a cabo en el presente artículo es el análisis estadístico en redes en producción del tiempo de llegada entre flujos con el fin de validar la utilidad de los métodos de estimación pasivos aquí propuestos, los cuales dependen intrínsecamente de la existencia de tráfico para poder inferir el comportamiento de los enlaces.

7. Referencias

- [1] IETF, IP Flow Information Export (IPFIX) Charter, <http://www.ietf.org/html.charters/ipfix-charter.html>.
- [2] Cisco Systems "NetFlow Services and Applications", White Paper, julio de 2002.
- [3] Simon Leinen "Evaluation of Candidate Protocols for IP Flow Information Export", Internet Draft, enero de 2004. Enviado al IESG para su publicación como RFC.
- [4] V.Paxson, G.Almes, J.Mahdavi, M.Mathis, "Framework for IP Performance Metrics", IETF RFC 2330, mayo de 1998.
- [5] G.Almes, S. Kalidindi, M. Zekauskas, "A one-way Delay metric for IPPM", IETF RFC 2679, septiembre de 1999.
- [6] G.Almes, S. Kalidindi, M. Zekauskas, "A One-way Packet Loss metric for IPPM", IETF RFC 2680, septiembre de 1999.
- [7] C. Demichelis, P. Chimento, "IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM)", IETF RFC 3393, noviembre de 2002.
- [8] J.Mahdavi, V.Paxson, "IPPM Metrics for Measuring Connectivity", IETF RFC 2678, septiembre de 1999.
- [9] G.Almes, S. Kalidindi, M. Zekauskas, "A Round-trip Delay Metric for IPPM", IETF RFC 2681, septiembre de 1999.
- [10] M. Mathis, M. Allman, "A Framework for Defining Empirical BTC", IETF RFC 3148, julio de 2001.
- [11] R.Koodli, R. Ravikanth "One-way Loss Pattern Sample Metrics", IETF RFC 3357, agosto de 2002.
- [12] IETF, Remote Network Monitoring (rmonmib) Charter, <http://www.ietf.org/html.charters/rmonmib-charter.html>
- [13] IETF, Realtime Traffic Flow Measurement (RTFM) Charter, <http://www.ietf.org/html.charters/OLD/rtfm-charter.html>
- [14] IETF, Packet Sampling (IETF) Charter, <http://www.ietf.org/html.charters/psamp-charter.html>
- [15] Sflow, <http://www.sflow.org>
- [16] Flow-tools, <http://www.splintered.net/sw/flow-tools>
- [17] UIT-T, Serie M: RGT y mantenimiento de redes. Recomendación UIT-T M.2301, agosto de 2002.
- [18] Myung-Sup Kim, Hun-Jeong Kang, Seong-Cheol Hong, Seung-Hwa Chung, James W.Hong "A Flow-based Method for Abnormal Network Traffic Detection", 2004 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium (NOMS'2004), Seúl, Corea, abril de 2004.
- [19] NLANR, IPERF, <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>
- [20] Ethereal, <http://www.ethereal.com>