

Caracterización de Tecnologías y Dispositivos de Red: Comportamiento de los *Buffer*

Luis Sequeira, Julián Fernández-Navajas, José M^a Saldaña, Luis Casadesus

E-mail {sequeira, navajas, jsaldana, luis.casadesus}@unizar.es

Grupo de Tecnologías de las Comunicaciones (GTC)-Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)

Dpt. IEC., Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Zaragoza

Edif. Ada Byron, 50018 Zaragoza, España

Abstract—Buffers are included in routers in order to enqueue packets waiting to be transmitted. The behaviour of the routers' buffer is of primary importance when studying network traffic, since it may modify some characteristics, as delay or jitter, and may also drop packets. As a consequence, the characterization of this buffer is interesting, especially when real-time flows are being transmitted: if the buffer characteristics are known, then different techniques can be used so as to adapt the traffic. This work presents a study of how to determine the technical and functional characteristics of the buffer of a certain device, or even in a remote Internet network node. Two different methodologies are considered and tested on two real scenarios which have been implemented; real measurements permit the estimation of the buffer size, and the input and output rates, when there is physical or remote access to the system under test. We have obtained accurate results in wired and wireless networks.

I. INTRODUCCIÓN

El amplio crecimiento del número de usuarios de los nuevos servicios multimedia (por ejemplo: VoIP, *streaming*, juegos en línea, etc.) en Internet genera una cantidad significativa de tráfico en la red. Por otro lado, estos servicios y aplicaciones generan paquetes cuyos tamaños pueden variar, desde unas decenas de bytes, como ocurre en VoIP, hasta otros que utilizan tamaños mayores, aumentando así la eficiencia de la información útil respecto a las cabeceras. Además, algunos servicios inyectan tráfico en la red a una tasa de bit constante con la finalidad de proveer cierta Calidad de Servicio (Quality of Service, QoS) y una mejor experiencia al usuario. Por otro lado, existen aplicaciones que generan tráfico a ráfagas, de diferentes cantidades de tramas.

Este crecimiento en la demanda de datos, en conjunción con las complejas arquitecturas de red que se presentan hoy en día, producen que ciertos puntos en la red se conviertan en cuellos de botella. Esto sucede principalmente en las redes de acceso, ya que las capacidades son menores que en las redes de transporte; estos puntos críticos de congestión también pueden presentarse en redes de altas prestaciones. En estos puntos, la principal causa de pérdida de paquetes es el descarte en las colas de los *router*. Es por esto que la implementación de *buffer* en los *router*, en conjunción con las políticas de gestión, son de gran importancia para asegurar la entrega del tráfico de las diferentes aplicaciones y servicios.

Las redes de acceso normalmente utilizan *router* de gama media y baja, que no suelen implementar técnicas avanzadas

de gestión de tráfico. Sin embargo, utilizan *buffer* como mecanismos de regulación de tráfico, por lo que el dimensionado de *buffer* se convierte en un parámetro de diseño importante. Muchos de estos *router* utilizan *buffer* tipo FIFO [1] pero existen otras políticas de gestión como *Random Early Detection* (RED). Estas técnicas, en conjunción con el tamaño del *buffer* definen su comportamiento y, por lo tanto, cómo el tráfico es afectado por él.

Por lo tanto, si se determina el tamaño y el comportamiento del *buffer*, se podrá mejorar la utilización del enlace aplicando técnicas que modifiquen el tamaño del paquete, como pueden ser la multiplexión de varios paquetes pequeños en uno más grande, o la fragmentación. Para estas situaciones nuestro grupo se encuentra desarrollando una herramienta capaz de descubrir algunas características de los *buffer* y su comportamiento en entornos con acceso físico y remoto al sistema a medir.

Este trabajo se organiza de la siguiente manera: en la sección II se discuten los trabajos relacionados. La metodología se presenta en la sección III. La siguiente sección cubre los resultados experimentales y al final se presentan las conclusiones.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

A. *Buffer*: Tipos y comportamiento

Hasta hace unos años los investigadores aceptaron el BDP (*Bandwidth Delay Product*) como el método para obtener el tamaño del *buffer* para una interfaz de salida de un *router*. Esta regla fue propuesta en 1994 [2] y viene dada por $B = C \times RTT$, donde B es el tamaño del *buffer*, RTT es la media del tiempo de ida y vuelta y C la capacidad de la interfaz del *router*. En [3], propusieron reducir el tamaño del *buffer* dividiendo el BDP por la raíz cuadrada del número de flujos TCP utilizados. Este modelo fue llamado *small buffer*.

En [4] se sugirió el uso de un *buffer* incluso más pequeño, llamado *tinny buffer*, considerando un tamaño del orden de unas decenas de paquetes. Sin embargo esta reducción puede venir acompañado de una probabilidad de descarte de paquetes del orden del 10 % – 20 %. Por otro lado, se ha observado en la literatura que el tamaño del *buffer* se puede medir de diferentes maneras, por ejemplo, en [5], se comparan los *router* de dos fabricantes y, mientras que uno de ellos da la información en

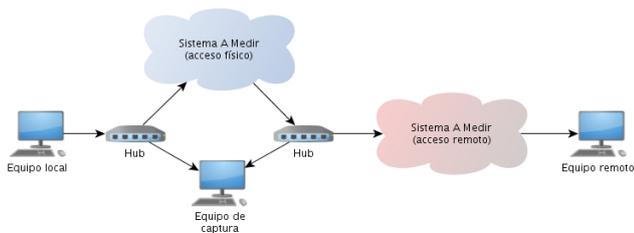


Fig. 1. Topología utilizada para las pruebas.

paquetes, el otro lo mide en milisegundos, lo que equivale en la práctica a medirlo en bytes.

Por otro lado, el tamaño del *buffer* no es un parámetro que forme parte en las especificaciones técnicas que un fabricante brinda con sus dispositivos, pero es una característica de diseño importante cuando se realiza la planificación de una red. La razón es que existe una relación entre el *buffer* de un *router* y la utilización del enlace, ya que una cantidad excesiva de memoria generaría un incremento significativo en la latencia; por otro lado, disponer de poca cantidad de memoria en el *buffer* incrementa la pérdida de paquetes en momentos de congestión. Por tanto, conocer el comportamiento de un *buffer* resulta interesante cuando se trata de mejorar la utilización de un enlace.

B. Influencia de los *buffer* en diferentes servicios

Existen publicaciones científicas en las que se estudia la influencia de los *buffer* para diferentes servicios [6] y [7]. Estos trabajos muestran resultados en los que diferentes comportamientos, tamaños y políticas de los *buffer* modifican la calidad de los servicios. Para estos casos interesa conocer las características técnicas y funcionales de dichos dispositivos. Este conocimiento puede ser útil para aplicaciones y servicios a la hora de tomar decisiones con respecto a la manera de generar el tráfico, ya que se pueden aplicar técnicas de multiplexión de paquetes, fragmentación u otras según corresponda en cada caso.

III. METODOLOGÍA DE PRUEBAS

A continuación se describe la metodología para la realización de medidas que permitan determinar características técnicas y otros aspectos relacionados con el comportamiento de los *buffer*.

A. Escenarios de pruebas

El esquema utilizado para las pruebas se muestra en la Fig. 1. El escenario permite analizar un “Sistema A Medir” (SAM), el cual puede ser o bien un simple dispositivo, o bien una red (*switch ethernet*, enlace Wi-Fi, cable modem, etc.). Consideraremos dos escenarios: uno en el que existe acceso físico al SAM, y el otro en el que el acceso es remoto. La metodología propuesta, al aplicarse en estos escenarios, permite determinar ciertas características del SAM para el caso en el que se tiene acceso físico. Además, se han obtenido buenas aproximaciones en los casos de acceso remoto.

En dicho escenario, se envía tráfico entre un par de equipos de pruebas (desde el *equipo local* hacia el *equipo remoto*) que se colocan en los extremos de la comunicación. Las pruebas consisten en el envío de diferentes paquetes UDP con la finalidad de provocar un desbordamiento del *buffer*. Un *equipo de captura* se utiliza con la finalidad de almacenar el tráfico en la entrada y en la salida del SAM cuando el acceso físico está garantizado. Por otro lado, para el acceso remoto, se gestiona de manera desatendida la captura de datos en el *equipo remoto*.

B. ETG (E2E Traffic Generator)

Esta herramienta ha sido desarrollada por nuestro grupo [8] para la generación de los diferentes flujos UDP con la finalidad de saturar el *buffer*. Además, se ha utilizado para automatizar las capturas de *tcpdump* en los extremos del enlace. Por otro lado, dicha herramienta permite el cálculo de ciertos parámetros de calidad objetiva (retardo, *jitter* y tasa de pérdidas), también permite el cálculo de parámetros subjetivos (factor R y MOS). Además, es capaz de establecer automáticamente una comunicación E2E entre dos equipos, enviando y recibiendo múltiples ráfagas de tráfico UDP.

C. Metodología

Se han utilizado dos métodos diferentes para estimar el tamaño del *buffer*, los cuales se utilizan en función del tipo de captura realizada en el entorno de pruebas: con acceso físico o remoto. Cuando se tiene acceso físico el *equipo de captura* generará dos ficheros, uno de *entrada* y otro de *salida*, mientras que en el otro caso sólo se generará el de salida. El primero de los métodos es exacto, ya que todas las variables son conocidas a través de las capturas, mientras que en el segundo son necesarios algoritmos de estimación. Por lo tanto, el primero se utiliza como punto de referencia para el desarrollo de éstos. A continuación se describe detalladamente cada método:

1. *Tamaño del *buffer* con acceso físico*: Ambos ficheros son procesados mediante un *script shell*, el cual permite calcular el retardo de cada paquete, las pérdidas, tiempo entre llegadas, velocidades de entrada y salida del *buffer*, así como su velocidad de llenado y vaciado. El tamaño del *buffer* se calcula para cada uno de los paquetes contenidos en el fichero de *salida*, mediante el conteo de los paquetes entre los tiempos de llegada y salida al *buffer*. Finalmente, el mismo *script* realiza una gráfica de la ocupación del *buffer*.

2. *Tamaño del *buffer* con acceso remoto*: En primer lugar se obtiene T_r del fichero de salida (ver Fig. 2), el cual depende de la longitud del *buffer* (L_{buffer}). T_r es el tiempo desde que el primer paquete es recibido hasta que se determina el primer paquete perdido; a su vez, sabemos que es igual al tiempo de llenado más el tiempo que tarda un paquete en recorrer el *buffer* cuando está lleno. Se sabe que se puede obtener T_r : $T_r = \frac{L_{buffer}}{V_{llenado}} + \frac{L_{buffer}}{V_{salida}}$ y despejando para la longitud del *buffer* obtenemos:

$$L_{buffer} = \frac{T_r}{\frac{1}{V_{llenado}} + \frac{1}{V_{salida}}} \quad (1)$$

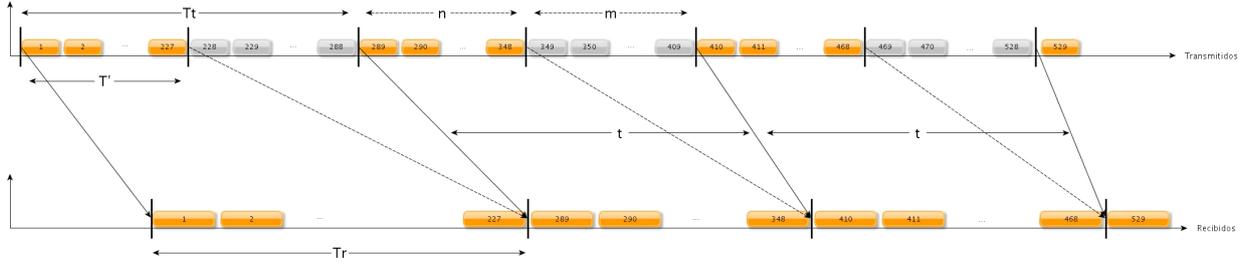


Fig. 2. Estimación de la cantidad de paquetes en cola para acceso remoto.



Fig. 3. Estimación del tamaño del *buffer* en una red inalámbrica.

La velocidad de salida se puede determinar, puesto que la captura remota incluye el tiempo de llegada de cada paquete y su longitud; por otro lado, la velocidad de llenado es la diferencia entre las velocidades de entrada y salida. Para obtener la velocidad de entrada se procede así: t puede ser medido con exactitud y será el mismo para ambos extremos de la comunicación. Cuando el *equipo remoto* recibe n paquetes, el *equipo local* ha enviado $n + m$ paquetes (donde m es el número de paquetes descartados por el *buffer*). Sin embargo, es posible saber cuáles son los paquetes descartados, pues cada uno posee un identificador único. Con esta información, las velocidades de entrada y salida se pueden estimar utilizando únicamente la información contenida en la captura remota, usando la siguiente expresión:

$$V_{entrada} = \frac{\sum_{i=1}^n n_{tx} + \sum_{i=1}^m m_{tx}}{t} \quad (2)$$

Sustituyendo la ecuación 2 en la 1 se puede obtener la longitud del *buffer*.

IV. RESULTADOS EXPERIMENTALES

A. Escenarios reales

Se ha diseñado un escenario de medidas utilizando *hub* con diferentes anchos de banda para crear un cuello de botella. Por otro lado, el control de flujo ha sido deshabilitado en todos los equipos para asegurar las velocidades de saturación deseadas.

1. *Red inalámbrica*: En el primer caso, se analiza un enlace entre dos puntos de acceso (Linksys WAP54G), tratando de estimar el tamaño del *buffer* del primero de ellos (*AP1*). La Fig. 3 muestra la topología utilizada, en la cual los equipos *local* y *remoto* se conectan utilizando *hub* con velocidades de 100 Mbps y 10 Mbps respectivamente.

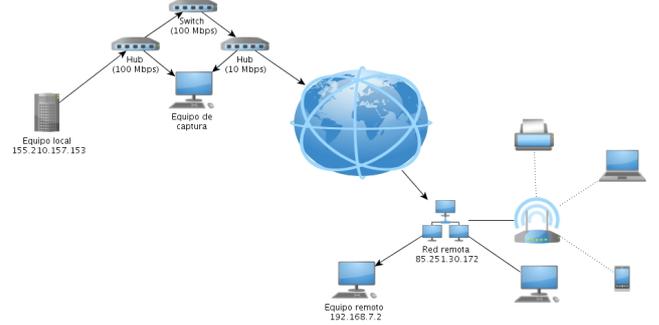


Fig. 4. Estimación del tamaño del *buffer* en una red cableada.

2. *Red cableada*: La topología utilizada se muestra en la Fig. 4. Desde Internet, un equipo accede a una red doméstica que dispone de acceso por cable modem. Este escenario permite un acceso parcial al SAM, por lo que el *equipo de captura* puede ser incluido en el escenario. De esta manera las medidas pueden estimar el tamaño del *buffer* en el *switch*.

B. Medidas con acceso físico y remoto

Las medidas que se presentan a continuación muestran la comparativa de los métodos propuestos para determinar el tamaño del *buffer* con acceso físico y remoto. Las pruebas se realizan para poder identificar el comportamiento particular en el *buffer* y su tamaño. Se han realizado pruebas con diferentes velocidades de saturación, con la finalidad de valorar el nivel óptimo de dicha velocidad. Por otro lado, ciertas tecnologías presentan variaciones en la tasa de transmisión para contrarrestar las condiciones del canal. Para ello, se han configurado distintos anchos de banda cuando la tecnología así lo permite, para valorar la precisión de los algoritmos ante estos casos.

Se han utilizado flujos UDP con paquetes de tres tamaños diferentes para saturar el *buffer*, con esto se determinará si el tamaño del *buffer* del SAM está definido en paquetes o bytes. Las estimaciones de la capacidad del *buffer* serán redondeadas al entero más próximo; por esto, en algunos casos los resultados podrían corresponder exactamente con los obtenidos en el primer método y por lo tanto con un error nulo.

1. *Primer escenario*: En este escenario inalámbrico se han comparado los dos métodos y los resultados se presentan

TABLA I
TAMAÑO DEL *buffer* EN WiFi Y ETHERNET.

Tecnología	BW Mbps	Método 1		Método 2		Error Método 2 (%)	
		LI	LS	LI	LS	LI	LS
WiFi	1	30	55	30	55	0	0
	2	30	55	30	55	0	0
	5,5	30	55	30	55	0	0
	11	30	55	32	53	6,67	3,63
	24	30	55	33	52	10	5,45
	54	30	55	36	59	20	7,27
Ethernet (físico)	20	85	115	83	113	2,35	1,74
	30	85	115	84	114	1,17	0,87
	40	85	115	84	115	1,17	0
Ethernet (remoto)	20	85	115	80	111	5,89	3,48
	30	85	115	83	113	2,35	1,74
	40	85	115	84	115	1,17	0

LI: Límite Inferior.

LS: Límite Superior.

TABLA II
VARIACIONES DE LA VELOCIDAD DE SALIDA EN WiFi.

BW	54 Mbps	24 Mbps	11 Mbps	5,5 Mbps	2 Mbps	1 Mbps
Mínimo (Mbps)	10,88	13,7	5,75	2,29	1,24	0,65
Máximo (Mbps)	28,36	16,84	6	3,13	1,41	0,65

en la Tabla I. En primer lugar observamos que el *buffer* no utiliza ninguna probabilidad para descartar paquetes; cuando se encuentra completamente lleno no acepta más paquetes e inicia el proceso de vaciado. El proceso de llenado no vuelve a comenzar mientras no haya cierta cantidad de memoria disponible. Durante este periodo no se aceptan nuevos paquetes.

Además, las variaciones en la velocidad de salida de la red inalámbrica (ver Tabla II) producen un crecimiento en el error de la estimación. Este fenómeno se presenta porque los puntos de acceso Wi-Fi conmutan la tasa de transmisión desde la más alta a una más baja, dependiendo del estado del canal radio. Por otro lado, las pruebas se repiten para tres valores diferentes de tamaño de paquetes, en todos los casos el tamaño en paquetes del *buffer* es el mismo, de esta manera se concluye que el tamaño de dicho dispositivo está definido en número de paquetes. Además, se ha observado que las pruebas realizadas con paquetes más pequeños presentan menor precisión.

2. *Segundo escenario:* En este caso se comparan los dos métodos propuestos ante variaciones en la velocidad de entrada al *buffer* para una red *ethernet*, ver Tabla I. En este nuevo escenario, el comportamiento del *buffer* es idéntico al del caso anterior, es decir, si este se llena no acepta nuevos paquetes hasta que cierta cantidad de memoria está disponible.

Por otro lado, aunque no hay diferencia en las velocidades de salida, se han utilizado tres anchos de banda diferentes para saturar el *buffer* obteniendo mayor precisión con el aumento de dicha velocidad. De la misma manera que en el caso anterior, el tamaño del *buffer* se define en número de paquetes, ya que

los resultados son los mismos para los diferentes tamaños de paquetes utilizados.

V. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Este trabajo presenta dos métodos para el análisis de características técnicas y funcionales del *buffer* en diversos dispositivos o redes. Este análisis es importante si se tiene en cuenta que los *buffer* pueden modificar las características del tráfico y también el descarte de paquetes.

La metodología propuesta puede ser utilizada tanto si hay acceso físico al “sistema a medir”, como si el acceso es remoto. Además, se han implementado dos escenarios diferentes con dispositivos comerciales, utilizando redes cableadas e inalámbricas.

Los resultados muestran estimaciones precisas en el tamaño del *buffer* cuando hay acceso físico al sistema. En el caso de no tener acceso directo, la estimación obtenida es razonablemente buena siempre que la tasa de entrada sea suficientemente alta y se utilicen paquetes del mayor tamaño posible. Esto confirma el buen funcionamiento de los algoritmos propuestos. Además, la metodología propuesta permitirá en un futuro comprobar el funcionamiento de nuevos algoritmos en otros escenarios.

AGRADECIMIENTOS

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

REFERENCIAS

- [1] R. Stanojević and R. Shorten, “Trading link utilization for queueing delays: An adaptive approach,” *Comput. Commun.*, vol. 33, no. 9, pp. 1108–1121, Jun. 2010. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.comcom.2010.02.014>
- [2] C. Villamizar and C. Song, “High performance tcp in ansnet,” *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 24, pp. 45–60, October 1994. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/205511.205520>
- [3] G. Appenzeller, I. Keslassy, and N. McKeown, “Sizing router buffers,” *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 34, pp. 281–292, August 2004. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/1030194.1015499>
- [4] M. Enachescu, Y. Ganjali, A. Goel, N. McKeown, and T. Roughgarden, “Part iii: routers with very small buffers,” *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 35, pp. 83–90, July 2005. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/1070873.1070886>
- [5] J. Sommers, P. Barford, A. Greenberg, and W. Willinger, “An sla perspective on the router buffer sizing problem,” *SIGMETRICS Perform. Eval. Rev.*, vol. 35, pp. 40–51, March 2008. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/1364644.1364645>
- [6] J. Saldana, J. Fernández-Navajas, J. Ruiz-Mas, E. Viruete Navarro, and L. Casadesus, “Influence of online games traffic multiplexing and router buffer on subjective quality,” in *Proc. CCNC 2012- 4th IEEE International Workshop on Digital Entertainment, Networked Virtual Environments, and Creative Technology (DENVECT)*, pp. 482–486, Las Vegas, January 2012.
- [7] J. Saldana, J. Murillo, J. Fernández-Navajas, J. Ruiz-Mas, E. Viruete, and J. I. Aznar, “Evaluation of multiplexing and buffer policies influence on voip conversation quality,” in *Proc. CCNC 2011- 3rd IEEE International Workshop on Digital Entertainment, Networked Virtual Environments, and Creative Technology*, pp. 1147–1151, Las Vegas, January 2011.
- [8] L. A. Casadesus Pazos, J. Fernández-Navajas, J. Ruiz Mas, J. M. Saldana Medina, J. I. Aznar Baranda, and E. Viruete Navarro, “Herramienta para automatización de medidas de tiempo real extremo a extremo,” *Actas del XXVI Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio (URSI 2011)*, Leganés (España). ISBN 9788493393458. Septiembre 2011.