

# Estimación de la capacidad y la calidad de servicio de un enlace, mediante técnicas de dispersión de paquetes

Rafael Juan<sup>(1)</sup>, Ricardo García<sup>(1)</sup>, Pablo Corral<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Dpto. de Física y Arquitectura de Computadores. Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones. Universidad Miguel Hernández. Avda. de la Universidad, s/n. 03.202 Elche (Alicante).

**Abstract-** It discusses the problem of estimating the bandwidth of a path under a moderate cross-traffic. In order to do this, first one we examine the main techniques based on measuring packet dispersion and determine their inconvenients. As a solution, we develop a client-server tool capable of simulating any queuing model in order to simulate all kinds of traffic. It also explains how to calculate the capacity of a path by applying methods for measuring packet dispersion trying to overcome the common disadvantages situations of cross-traffic. Finally, it creates a scene of simulation to determine how the cross-traffic affects on the bandwidth measurement with this tool.

## I. INTRODUCCIÓN

Las técnicas de dispersión de paquetes, son las más populares para la medida de la capacidad y ancho disponible de un enlace de comunicaciones [1] [2]; entre ellas, destacan las técnicas Packet-Pair y Packet-Train. La desventaja de este tipo de medidas es que sólo son válidas bajo determinadas condiciones, así la existencia de tráfico intermedio no deseado que se encole en el mismo cuello de botella o en otros nodos, provocan serias distorsiones en la medida de dicha capacidad. De manera que, en un entorno como dos puntos cualesquiera de una red, es muy difícil aislar el tráfico no deseado, siendo la aplicación de estos dos métodos en su idea más básica inviables, para medidas de capacidad en determinadas situaciones [3] [4].

En este artículo, se presenta la aplicación software NetSys, como una herramienta capaz de simular diferentes modelos de colas, controlando el tiempo entre paquete y el tamaño de los mismos. La herramienta, aprovechando el tráfico generado, es capaz de dar una estimación de la capacidad del enlace entre otros parámetros. Mediante NetSys, se han realizado simulaciones sobre una red inalámbrica mallada y se ha comparado con las técnicas tradicionales para medidas de capacidad.

## II. LAS TÉCNICAS PACKET-PAIR Y PACKET-TRAIN

La idea básica de la técnica Packet-Pair, es enviar un par de paquetes del mismo tamaño por el canal a caracterizar, lo suficientemente consecutivos en tiempo, como para que se encolen en el cuello de botella. En este punto, sufrirán la máxima dispersión, es decir, debido al encolamiento en el cuello de botella, los tiempos de llegada diferirán de los enviados [5].

El canal es estimulado por dos paquetes:  $P_0$  y  $P_1$  de tamaños  $S$  que se envían en los tiempos  $t_0^0$  y  $t_0^1$  respectivamente, es decir, ocupan un ancho de banda  $b_0$  tal que:

$$b_0 = \frac{S}{(t_0^1 - t_0^0)} \quad (1)$$

El cuello de botella del enlace, se refiere al nodo que comprometerá la capacidad final de todo el canal, ya que provocará la dispersión máxima pasando a ser, el tiempo entre paquetes de  $t_0^1 - t_0^0$  a  $t_n^1 - t_n^0$  tal que se cumpla la condición:  $(t_0^1 - t_0^0) < (t_n^1 - t_n^0)$ .

Para ello, se supone que el nodo trabaja como la mayoría de nodos de Internet, no empieza a enviar el primer bit de un determinado paquete, hasta que no recibe el último bit de dicho paquete y las colas de estos son de tipo FIFO (*First In, First Out*). En caso contrario esta técnica perdería validez.

Así se obtiene al final del enlace un ancho de banda recibido de:

$$b_1 = \frac{S}{(t_n^1 - t_n^0)} \quad (2)$$

Ahora bien, la capacidad del canal será igual al ancho de banda recibido, sólo si los tiempos de los paquetes son los suficientemente pequeños como para se encolen en el nodo.

Por su parte, la técnica Packet-Train se basa en una extensión del concepto de Packet-Pair [6] [7]. Esta técnica se centra en enviar  $N$  paquetes de tamaño  $S$ , con  $N$  mayor a 2. De esta manera, se consigue promediar la capacidad del canal (3), siendo la diferencia de tiempos las medidas entre el primero y último paquete:

$$b_1 = \frac{(N-1) \cdot S}{(t_n^1 - t_0^0)} \quad (3)$$

La técnica Packet-Pair suele ser utilizada para medidas de la capacidad del canal, mientras que la técnica Packet-Train normalmente es utilizada para medir ancho de banda disponible [8]. En cualquier caso, Packet-Train nos da una medida más robusta frente al ruido y el tráfico cruzado [9].

## III. INCONVENIENTES DE LAS TÉCNICAS DE DISPERSIÓN DE PAQUETES

La medida de la capacidad del canal con esta técnica sólo es aplicable en determinados casos, es decir, se tienen que cumplir una serie de condiciones para que la capacidad a medir converja con la real. Así, el nodo o nodos que forman el enlace prácticamente deben servir en el momento de la prueba a la fuente testeadora; en otras palabras, no debe existir tráfico cruzado que se encole en el cuello de botella [10]. Este tipo de tráfico puede provocar que al llegar el primer paquete al nodo tenga que esperar, o que entre el primer y segundo paquete se encolen otros paquetes; estas situaciones provocarían una mayor distorsión en los tiempos a medir, Fig. 1. Por otro lado, una vez superado el cuello de botella los paquetes no se deben juntar en otra cola del enlace que atienda o gestione las salidas más rápidamente que las colas anteriores. Este problema se puede resolver enviando paquetes de forma más continua; en ocasiones imposible, ya que son rechazados directamente, aumentando el número de simulaciones a realizar y/o

tratando los datos en el receptor para intentar descartar aquellos valores que provoquen error en la medida; como puede ser una velocidad de recepción mayor que la de transmisión.

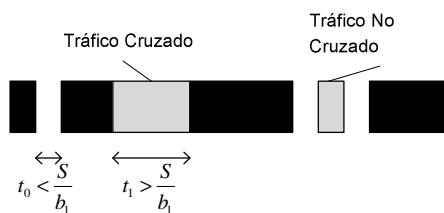


Fig. 1. Tráfico cruzado.

Desafortunadamente, lograr el escenario anterior no es fácil, sobre todo para redes ya en funcionamiento como puede Internet. Así, entre dos puntos cualesquiera de Internet con un tráfico aleatorio sería difícil calcular la capacidad del canal con esta estimación.

Existen diferentes metodologías que ayudan a mejorar la estimación de la capacidad del enlace basándose en la técnica Packet-Pair. En [11] para lograr este objetivo, se combinan métodos de filtrados de unión e intersección, además de utilizar tamaños de paquetes variables. En [4], se utilizan funciones de densidad basadas en un núcleo a cambio de histogramas para determinar el modo de la distribución de la técnica Packet-Pair. En [12], se utilizan variaciones del retardo a cambio de la dispersión del par de paquetes, y se detecta el pico de las variaciones en vez del modo de la distribución.

#### IV. LA HERRAMIENTA NETSYS

Para reducir el efecto del tráfico cruzado, se propone un modelo de simulación basado en enviar un número razonable de paquetes de diferentes tamaños en tiempos aleatorio y utilizar métodos de filtrado para la determinación de la capacidad del canal.

Con este objetivo se emplea el software de simulación NetSys Fig. 3, formado por una aplicación cliente y otra servidora. El cliente puede controlar  $n$  conexiones diferentes ya sean TCP o UDP, y es la parte encargada de generar y simular cualquier tipo de tráfico. Para ello, dispone de dos partes diferenciadas y configurables por el usuario; una de ellas es el tiempo de envío de los paquetes y la otra el tamaño del paquete. Los valores de están variables se pueden cargar directamente a partir de los generadores que dispone, capaces estos de simular las distribuciones más típicas, como, aleatoria, normal, Erlang o exponencial.

Por su parte, el servidor es capaz de aceptar todas las conexiones entrantes provenientes de los clientes, que generan el tráfico a través de la red y mostrar de una manera sencilla una serie de estadísticos relacionados con la transmisión, tales como media y desviación del tamaño, tiempo de llegada y velocidad de transmisión, número de paquetes recibidos, número de paquetes fragmentados por la red y así un gran número de estadísticos que dan idea de cómo responde la red ante determinado estímulo. Además el software muestra en tiempo real, la velocidad de transmisión recibida frente a la enviada; de donde se extraen las conclusiones sobre la capacidad y la calidad de servicio.

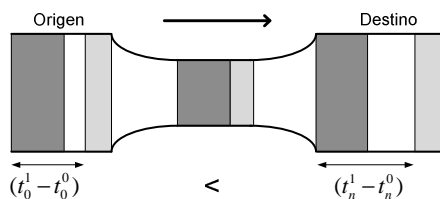


Fig. 2. Modelo del canal de transmisión.

El modelo que sirve de base para aplicar la técnica, es mostrado en la Fig. 2, donde, por su lado el cliente controla los tiempos de envío y el tamaño de paquete, los cuales son conocidos por el destino (servidor).

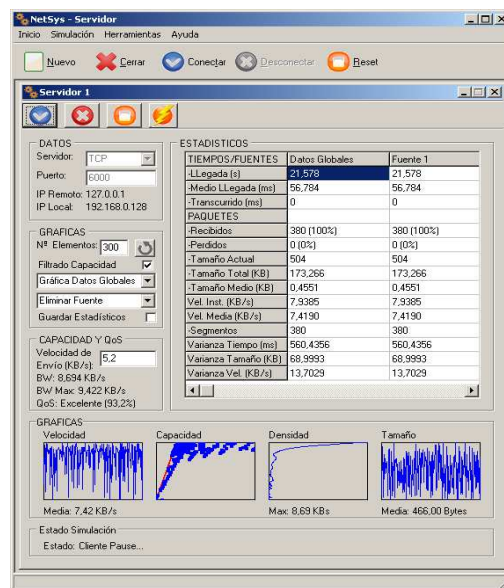


Fig. 3. Aplicación NetSys.

Resumiendo la herramienta NetSys, se presenta como una aplicación que permite controlar el tiempo entre paquete con una precisión de microsegundos y el tamaño de paquete en cualquier rango posible, valiendo como modelo para la simulación de técnicas basadas en la dispersión de paquetes para la medida de la capacidad.

#### V. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DEL CANAL Y NIVELES DE QOS.

La aplicación por si sola no calcula la capacidad de un canal; su labor se centra en generar tráfico y cuantificar la respuesta provocada por este. Así, estimulando el canal en un rango de velocidades lo suficientemente elevadas, el cuello de botella en el enlace, tenderá a unificar estas velocidades a una sola, proporcional a la capacidad del canal. Así, en el caso de un enlace compuesto por un nodo, enviando un número de paquetes razonables bajo un tráfico cruzado moderado, se converge al valor real de la capacidad del canal. El principal inconveniente de esta técnica, es que necesita inundar de tráfico el canal, para realizar la medida de la capacidad.

Para determinar el ancho de banda del canal se siguen una serie de consideraciones. En primer lugar, se representa tal y como se muestra en la Fig. 4 el ancho de banda enviado frente al ancho de banda recibido.

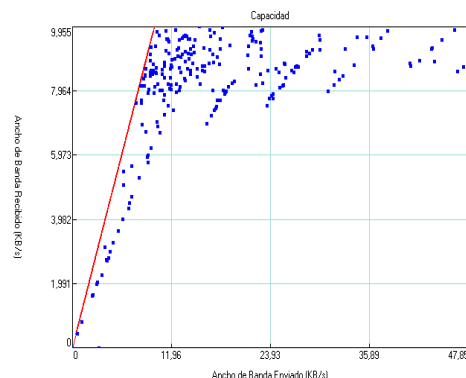


Fig. 4. BW enviado vs BW recibido.

La línea roja representa la recta  $y = x$ , previa representación, se han filtrado aquellos valores que no cumplen la condición  $(t_0^1 - t_0^0) < (t_n^1 - t_n^0)$ , debido a que han sido afectados por el tráfico cruzado u otros efectos no deseados, así su medida y evaluación carecen de sentido. Se pueden aplicar otros tipos de filtros más restrictivos cuyos coeficientes están en actualmente en fase de prueba.

Finalmente, para determinar la capacidad se tiene que hallar donde se encuentra la mayor concentración de puntos de la Fig. 4, cuyo valor tiende a la capacidad del canal en el caso en que la velocidad de transmisión en el cliente haya sido lo suficientemente elevada como para provocar un cuello de botella en el enlace o en el nodo más lento. La dispersión de estos puntos, en gran parte es debida al tráfico cruzado.

Mediante el uso de una función de densidad basa en un núcleo de tipo triangular [4] se determina la máxima concentración. La Fig. 5 muestra la función de densidad de la Fig. 4, el valor máximo de esta función, corresponderá con el valor de la capacidad del enlace.

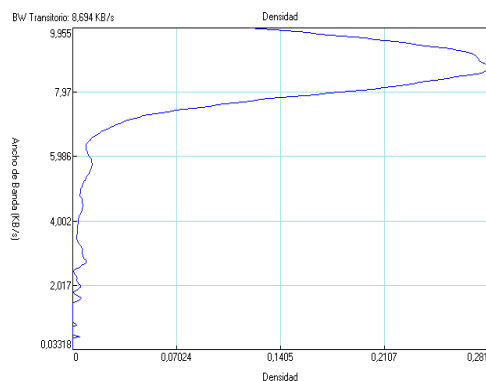


Fig. 5. Histograma de BW enviado vs BW recibido.

Hay que tener en cuenta que para determinar la capacidad del canal, la simulación se debe realizar durante un mínimo periodo de tiempo; tiempo que vendrá determinado esencialmente por el tipo de tráfico cruzado. En definitiva, con este tiempo de simulación lo que se busca es realizar una medida coherente evitando el tráfico cruzado.

Por otro, lado para determinar la *QoS* del enlace en cuestión, se fija la línea tal que  $y = cte$ , en la gráfica de la Fig. 4, que representa el ancho de banda que requiere determinada aplicación. Entonces, se calcula el porcentaje de los puntos cuyo ancho de banda es superior a la constante introducida. Dicho porcentaje nos proporcionará el nivel para la *QoS*. La Fig. 6 muestra como NetSys aplicando el método anterior calcula la calidad de servicio para una aplicación que requiere un ancho de banda de  $320 \text{ kbps}$  y dispone de un enlace cuya capacidad es aproximadamente de  $780 \text{ kbps}$ , en cuyo caso la *QoS* es de  $0,943$ .

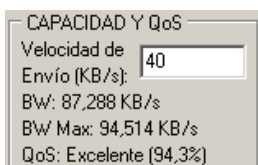


Fig. 6. Capacidad y *QoS* en NetSys.

## VI. ESTIMACIONES DE CAPACIDAD EN REDES MESH

802.11s es el estándar en desarrollo del IEEE para redes Wi-Fi mallas, también conocidas como redes Mesh. La malla, es una topología de red en la que cada nodo está conectado a uno o más nodos, haciendo posible llevar los mensajes de un nodo a otro por

diferentes caminos. A continuación, se medirá la respuesta entre los extremos de un enlace formado por dos nodos Mesh.

En la Fig. 7 se muestra el escenario de simulación utilizado; está formado por dos nodos Mesh inalámbricos. Al *Nodo-1* se conecta el cliente: *Cruzado-1* para simular tráfico cruzado el cual es recibido por el *Servidor-2*. El *Cliente-1* enviará al *Servidor-1* diferentes tipos de tráfico para determinar la capacidad del canal bajo distintos tipos de tráfico cruzado. Los clientes se conectan según el estándar 802.11 b a  $11 \text{ Mbps}$ .

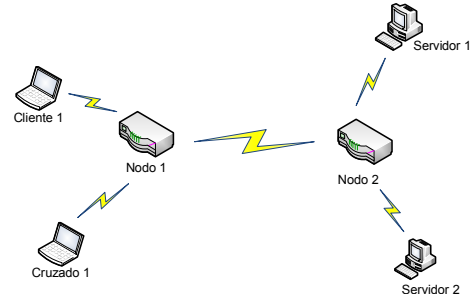


Fig. 7. Escenario de simulación.

Los resultados mostrados en las tablas siguientes son medias de varias simulaciones dependiendo de la variabilidad de la respuesta.

La primera técnica de dispersión que se va a simular es la Packet-Pair. El tiempo entre paquetes empleado es de  $100 \mu\text{s}$  y el tamaño de paquete de  $1 \text{ K}$ . Los resultados para el par de paquetes enviado bajo diferente tráfico cruzado se muestra en la Tabla 1.

Tráfico cruzado (kbps)	Paquetes enviados	Paquetes perdidos	BW Recibido (Mbps)
0	2	0	3.60
120	2	0	3.60
240	2	0	2.98
800	2	1	0.00

Tabla 1. Estimaciones de BW con Packet-Pair.

Los resultados obtenidos convergen rápidamente ( $100 \mu\text{s}$ ) a la capacidad del canal. La aplicación de la técnica Packet-Pair en medios inalámbricos se hace difícil, ya que independientemente del tráfico cruzado que pueda existir, se añaden los problemas del acceso al medio. Así, generalmente o no se pueden enviar el par de paquetes o se pierde el segundo paquete en uno de los saltos quedando inutilizada la técnica, esta es la situación del último caso.

Ahora, se simulará la técnica Packet-Train, utilizando unos tamaños y tiempos de envío iguales al caso anterior. Los resultados se muestran en la Tabla 2. El cálculo de BW sin tráfico cruzado, da igual resultado para Packet-Pair que para Packet-Train. Por otro lado conforme aumenta el tráfico cruzado, Packet-Train da mejores resultados que el par de paquetes y la medida se aproxima cada vez más al ancho de banda disponible.

Tráfico cruzado (kbps)	Paquetes enviados	Paquetes perdidos	BW Recibido (Mbps)
0	70	11	3.58
120	70	22	3.41
240	70	29	2.51
800	70	31	2.20

Tabla 2. Estimaciones de BW con Packet-Train.

Si en el modelo anterior se hace uso de la herramienta, y posteriormente se procesa la salida, aplicando el filtrado y representando la información en formato ancho de banda enviado frente a recibido explicado anteriormente, se estima una capacidad de  $3.70 \text{ Mbps}$  que coincide con el pico del histograma. En la Fig. 8 se puede apreciar que el ancho de banda enviado está centrado

entorno a un valor, las desviaciones se deben a que la herramienta no genera un paquete justo cada  $100 \mu s$ ; sino que lo hace entorno a ese valor.

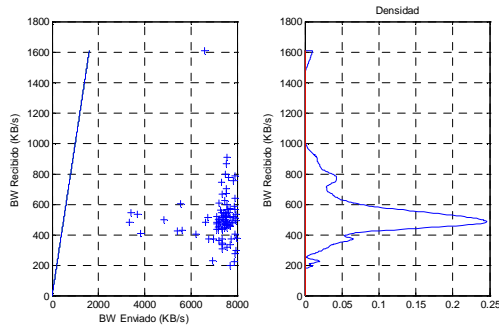


Fig. 8. Estimaciones de  $BW$  con Packet-Train aplicando técnicas de filtrado.

A continuación, para determinar la capacidad se sigue un modelo de cola de patrón normal de media  $100 \mu s$ ; y desviación  $1 \mu s$ . Para el tamaño de paquete se sigue una distribución aleatoria cuya media es de  $1 K$ .

Tráfico cruzado (kbps)	Paquetes enviados	Paquetes perdidos	BW Recibido (Mbps)
0	500	69	3.68
120	500	72	3.48
240	500	115	2.78
800	500	151	2.31

Tabla 3. Estimaciones de  $BW$  con modelo de colas.

Enviando paquetes a velocidades aleatorias, tal y como se muestra en la Fig. 9, al lado izquierdo se puede apreciar como efectivamente la velocidad de envío está dispersa entre  $0$  y  $8000 Kbps$ . Para este tipo de estímulos se puede apreciar la respuesta del canal. A baja velocidad, la respuesta es casi inmediata; pero conforme nos vamos acercando al límite de la capacidad del canal, se tiende a un ancho de banda recibido proporcionar a la capacidad del canal para cualquier velocidad de envío.

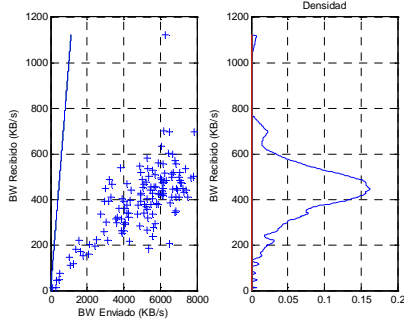


Fig. 9. Estimaciones de  $BW$  utilizando modelos de cola.

El efecto anterior se puede ver de otra manera. Existe un límite inferior de tiempo, que estimulando al enlace por debajo del cual, la respuesta del mismo va a ser siempre la misma.

Se obtienen resultados parecidos a los anteriores si se aumenta el tiempo de envío al orden de milisegundos, siguiendo un patrón aleatorio y aumentando el tamaño de paquete. Bajo este régimen la aplicación es capaz de mostrar en tiempo real la respuesta del canal. El inconveniente de este método es que el canal permanece inundado durante más tiempo. Este caso ha sido probado con un cliente conectado según 802.11a y se ha estimado una capacidad de  $17.139 Mbps$ , Fig. 10.

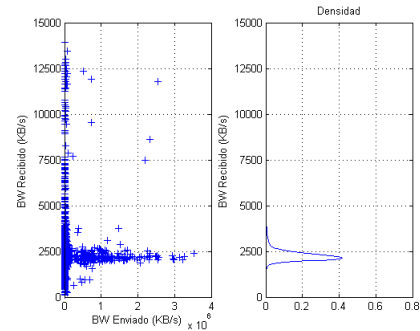


Fig. 10. Estimaciones de  $BW$  cliente 802.11a.

## VII. CONCLUSIONES

Como se ha visto, el emplear tasas de transmisión variables, controladas a través del tamaño de paquete y el tiempo entre paquetes influye positivamente en la medida de la capacidad, ya que aísla considerablemente los efectos de distorsión del tráfico cruzado siempre que este sea moderado. Esta variación supone una mejora respecto a las técnicas de dispersión para la medida de capacidad vistas. Por otro lado, como se ha visto para canales cuyo tráfico cruzado es considerable, no basta con hacer una única medida en un tiempo muy pequeño como en el caso de Packet-Pair, sino que hay que tomar muchas muestras y determinar el valor al que convergen, que será aproximado al ancho de banda disponible. Para determinar dicho valor, se utilizan funciones de densidad basadas en un núcleo.

Como líneas de trabajo en el futuro, se propone incluir en la medida de la capacidad algún tipo de estimación sobre el tráfico cruzado e incluir nuevos filtros que sean más restrictivos y desechen los valores afectados parcialmente por el tráfico cruzado.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ha financiado en parte por la *Universidad Miguel Hernández*.

## REFERENCIAS

- C. Dovrolis, P. Ramanathan, and D. Moore, "Packet-dispersion techniques and a capacity-estimation methodology," *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol. 12, pp. 963–977, Dec. 2004.
- V. Jacobson, "Congestion avoidance and control," in *Proc. ACM SIGCOMM '88*, Aug. 1998, pp. 314–329.
- R. Kapoor, L.-J. Chen, M. Y. Sanadidi, and M. Gerla, "CapProbe: A simple and accurate capacity estimation technique," in *Proc. ACM SIGCOMM '04*, 2004, pp. 67–78.
- K. Lai and M. Baker, "Measuring bandwidth," in *Proc. INFOCOM '99*, 1999, pp. 235–245.
- Jiri Navratil and R. Les. Cottrell, ABwE: A practical approach to available bandwidth estimation, in *Passive and Active Measurement (PAM) Workshop 2003 Proceedings*, La Jolla, CA, USA, Apr. 2003.
- B. Ahlgren, M. Björkman, and B. Melander, "Network Probing Using Packet Trains," *Swedish Institute Technical Report*, March 1999.
- Ningning Hu and Peter Steenkiste, Evaluation and characterization of available bandwidth probing techniques, *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, 2003.
- Manish Jain and Constantinos Dovrolis, End-to-end available bandwidth: Measurement methodology, dynamics, and relation with TCP throughput, in *Proceedings of ACM SIGCOMM*, Pittsburg, PA, USA, Aug. 2002.
- Constantinos Dovrolis, Parameswaran Ramanathan, and David Moore, What do packet dispersion techniques measure?, in *Proceedings of IEEE INFOCOM*.
- Yu Cheng, Vikram Ravindran, Alberto Leon-Garcia, Hsiao-Hwa Chen. New Exploration of Packet-Pair Probing for Available Bandwidth Estimation and Traffic Characterization.
- R. L. Carter and M. E. Crovella, "Measuring Bottleneck Link Speed in Packet-Switched Networks," *Performance Evaluation*, vol. 27,28, pp. 297–318, 1996.
- A. Pasztor and D. Veitch, "The Packet Size Dependence of Packet Pair Like Methods," in *IEEE/IFIP International Workshop on Quality of Service (IWQoS)*, 2002.