

Available Bandwidth Estimation for High Quality Television Content

Fabian Chaparro
Universidad Santo Tomas
Calle 19 No. 11 - 64
Tunja, Colombia
Email: wchaparro@ustatunja.edu.co

Cesar D. Guerrero
Universidad Autonoma de Bucaramanga
Avenida 42 No. 48 - 11
Bucaramanga, Colombia
Email: cguerrer@unab.edu.co

Francisco Fraile
Universidad Politecnica de Valencia
Camino de Vera, 46022
Valencia, Spain
Email: ffraile@iteam.upv.es

Abstract—High quality television content such as IPTV is delivered at a high cost for network operators. Most of the time, the network capacity (maximum bandwidth) is under-utilized and therefore there is room for additional content to be placed by an IPTV content generator in the communication channel. In order to use the spare capacity, it is necessary to use mechanisms to estimate the bandwidth availability in such way that the content generator is able to react when there is a change in the network. In this paper it is shown that an available bandwidth estimator can be used to provide estimates to an IPTV content generator so that new content can be delivered or the quality of service and experience can be improved. A controlled network environment is used to transmit five sequences of an IPTV video and measure the real utilization of the network and compare it with the estimated by a tool called *Traceband*. Results show that the granularity of the estimation is good for the content generator to react to variations in the network utilization.

I. INTRODUCCIÓN

El ancho de banda disponible de extremo a extremo en una red es una medida que favorece la operación de diferentes aplicaciones de red. Una de estas aplicaciones es la de transmisión de video. Recientemente Botta y otros [1] describen la utilidad de la estimación del ancho de banda disponible para la selección del servidor y control de admisión en una red de distribución de contenido. Los autores utilizan una configuración particular de la herramienta Pathchirp [2] para mostrar, a través de un ambiente controlado, la efectividad en la escogencia del servidor y del canal a través del cual se envía una transmisión de video. Arsan [3] presenta una arquitectura que mediante el uso de herramientas de estimación de ancho de banda disponible plantea obtener el mejor camino con aceptable tasa de transmisión para transmisión de video. Hongcai [4] propone un mecanismo de transmisión de video basado en control auto-adaptativo a través de la estimación del ancho de banda disponible. Jain y Dovrolis [5] muestran que la utilización del ancho de banda disponible como métrica para decidir la ruta a través de la cual se envía tráfico de video, resulta ser mas efectiva que la utilización de otras métricas. Finalmente, Tunali y otros [6] introducen un estimador de ancho de banda disponible integrado a un generador de video para determinar la tasa de transmisión de video que mejore su calidad. Los autores de este último trabajo concluyen que la principal dificultad en la efectividad del método radica en la velocidad de la estimación y en la cantidad de paquetes extra que son insertados para realizar la estimación (*overhead*).

La selección del servidor que entrega la información de video y la verificación de disponibilidad para la inclusión de servicios de nivel agregado son la principal aplicabilidad de la estimación del ancho de banda disponible en cuanto a transmisión de contenido televisivo de alta calidad a través de la plataforma IPTV (Televisión a través de la plataforma del protocolo de internet). Desplegar óptimamente servicios IPTV en modo *push* implica un mejor aprovechamiento del canal para ofertar mayor contenido televisivo y/o mejorar la calidad de lo transmitido. Esto involucra el incremento de la tasa de transmisión dentro de la entrega en modo *push* [7] [8].

En este artículo se demuestra experimentalmente la capacidad de un estimador de ancho de banda disponible para ser aplicado en la optimización del uso del canal para una transmisión IPTV en modo *push*. La herramienta que se utiliza es *Traceband* [9] aprovechando su baja intrusión en la red y la alta velocidad y periodicidad en la estimación.

Lo que resta del artículo se organiza de la siguiente manera. En la sección II se define el ancho de banda disponible y se presentan las principales técnicas de estimación. En la sección III se caracteriza la transmisión de contenidos televisivos de alta calidad en modo *push* que será objeto de estudio para la aplicación de estimación de ancho de banda disponible. Posteriormente, en la sección IV, se presenta el criterio de definición de la herramienta de estimación de ancho de banda disponible y la infraestructura empleada para la experimentación. La sección V describe los experimentos realizados y los resultados obtenidos para que finalmente en la sección VI se presenten las conclusiones del trabajo.

II. ANCHO DE BANDA DISPONIBLE

La estimación de ancho de banda disponible de extremo a extremo en una red es compleja debido a que no se puede acceder a la información de utilización de los nodos intermedios (enrutadores). Diferentes técnicas y herramientas de estimación han sido propuestas y a su vez evaluadas por diferentes autores [10] [1] [11] [12]. La exactitud, velocidad de procesamiento y *overhead* generado en la estimación son principalmente las métricas que la herramientas existentes tratan de mejorar para que puedan ser utilizadas en diferentes aplicaciones de red. En general, los estimadores intentan optimizar el comportamiento frente a una métrica intentando no sacrificar las otras. Una alta exactitud en la estimación conlleva

altos costos de procesamiento y respuestas con intervalos grandes de tiempo.

La definición del ancho de banda disponible se basa en lo planteado por Prasad [13]. Si se define τ como la escala de tiempo promedio para el cálculo de la disponibilidad del ancho de banda; se determina que la utilización promedio de cada enlace i dentro de cada intervalo de tiempo τ , esta dada por:

$$U_i(t, t + \tau) = \frac{1}{\tau} \int_t^{t+\tau} u_i(s) ds \quad (1)$$

Donde $0 \leq U_i(t, t + \tau) \leq 1$. Para cada enlace i , con un máximo ancho de banda o capacidad C_i , la disponibilidad de ancho de banda AB de extremo a extremo en el intervalo de tiempo $(t, t + \tau)$, puede ser definido como el promedio no utilizado de la capacidad durante el periodo de tiempo τ . Lo anterior puede representarse como:

$$AB_i(t, t + \tau) = C_i[1 - u_i(t, t + \tau)] \quad (2)$$

Para un enlace con H número de saltos, la disponibilidad del ancho de banda, está determinado por el enlace con la disponibilidad mas baja de todos los enlaces posibles en el camino de extremo a extremo, esto puede representarse como:

$$AB(t, t + \tau) = \min_{i=1..H} AB_i(t, t + \tau) \quad (3)$$

En cuanto a los estimadores y las técnicas de estimación, existen dos grupos principales: aquellos estimadores basados en el *Probe Gap Model* (PGM) y aquellos basados en el *Probe Rate Model* (PRM). *Traceband* [9] es una de las herramientas que comparativamente presenta buen tiempo de estimación y menor intrusión (*overhead*) por el envío de paquetes de prueba. Su exactitud en la estimación aunque no es alta comparada con otras herramientas, esta siendo objeto de estudio [14]. *Traceband* se basa en el *Probe Gap Model* en donde la estimación se realiza en función de la separación o dispersión entre dos paquetes de prueba consecutivos que se envían a la red. Al interactuar con tráfico cruzado (tráfico que llega a los enrutadores proveniente de diferentes fuentes) la dispersión de los paquetes sufre una variación que esta correlacionada con la cantidad de tráfico cruzado (utilización) del enlace. Con la estimación de esta cantidad de tráfico cruzado, correspondiente al valor de U_i en la Ecuación 1, se puede encontrar el valor del ancho de banda disponible restando dicho valor de la capacidad C_i . Nótese que bajo este modelo, se asume que la capacidad del enlace es conocida.

Otra herramienta ampliamente citada en la literatura es *Pathload* [15] y se caracteriza por su alta exactitud con el costo de enviar un alto número de paquetes de prueba a la red y de tener uno de los mas altos tiempo de estimación. Esta herramienta se basa en el *Probe Rate Model* en donde se miden los retardos que sufren los paquetes de prueba cuando el canal se congestiona a una tasa incremental. La estimación se calcula encontrando la tasa de paquetes de prueba a la cual se presenta una variación incremental de los retardos de propagación que indica que se ha alcanzado el ancho de banda disponible de la red.

III. IPTV Y RTP

De acuerdo con la Union Internacional de Telecomunicaciones [16], el término IPTV hace referencia a servicios multimedia (televisión, video, audio, gráficos, entre otros) que son enviados a través de redes basadas en IP de tal forma que se proporcionen adecuados niveles de calidad de servicio, seguridad, interactividad y confiabilidad. La transmisión de información en IPTV se basa en la codificación de los contenidos multimedia de alta calidad y en la disponibilidad de los recursos de red necesarios para la transmisión [17].

Caracterizar el caso de uso sobre el cual se van a realizar las mediciones que permitan establecer la aplicabilidad de un estimador de ancho de banda disponible, comprende definir la manera en que se entrega por parte del servidor de almacenamiento de contenidos multimedia, al componente que codificara y a su vez realizará el proceso de encriptar la información. A su vez el componente de transmisión abarca la entrega física a un medio como puede ser un canal satelital, HFC, Red Ethernet Extendida o un enlace de red inalámbrico principalmente, que se encargará de llevar la información multimedia desde el servidor gestor de contenido multimedia hasta el ordenador que emulara un usuario.

El estándar de codificación utilizado para la transmisión de contenido digital es el estándar *H.264* o *MPEG4 Advanced Video Coding* [17] [18] por ser ideal en el trabajo bajo ambientes IP. Por las características de soportar alta calidad de video bajo parámetros de alta tasa de compresión, duplica la eficiencia en la compresión con respecto a codificadores similares. De esta manera, se logra un menor espacio para almacenamiento del video, ahorro de ancho de banda en la red (en el *backbone*), descargas rápidas y proliferación de funcionamiento en razón a que minimiza el riesgo de inversión a largo plazo derivado de su funcionalidad y de su alto grado de acogencia por parte de las interfaces que permiten su visualización.

El estándar *H.264* correlaciona el uso de la Transformada Discreta del Coseno (*DCT*) [19] para manejar series finitas y trabajar con componentes netamente reales, evitando de esta manera el alto procesamiento derivado de integrar datos que no necesita correlacionar. El utilizar este protocolo garantiza alto grado de funcionalidad y parametrización de caso de uso por parte de operadores que ofertan contenido multimedia de manera general.

En cuanto a la entrega de los datos a transmitir, se requiere un protocolo ligero como UDP, pero con cierto grado de confiabilidad en la entrega de información (tal como TCP). Un protocolo que permite esa combinación es RTP (*Real-Time Transport Protocol*). Este protocolo fue desarrollado específicamente para aplicaciones que buscan transmitir información de video y audio en tiempo real bajo estructuras de red denotadas en una vía (unicast) o en varias vías (multicast), referenciadas en las topologías prácticas reales entre ISP (Proveedores de servicios) y usuarios [19]. RTP funciona a través de una negociación en donde se realiza una solicitud a un servidor (un *HTTP GET*), el cual responde a través de la descripción de la presentación en un formato que generalmente se denota en XML. Una vez la solicitud es aceptada, se correlaciona la negociación de factores de configuración entre el usuario y el servidor de contenido multi-

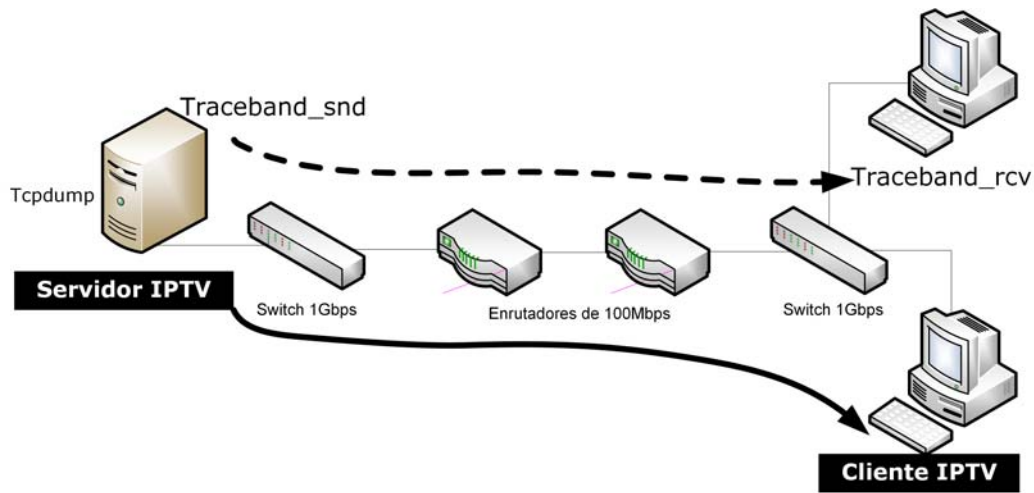


Figura 1. Testbed de evaluación de estimación de ancho de banda disponible y transmisión de IPTV

media y este último comienza a ofertar la entrega de paquetes que viajan bajo la parametrización de tráfico RTP [19]. De esta manera comienza la intervención en la negociación de información bajo esta entrega y se integra el mecanismo de control que permite validar la entrega fiable de la información. El protocolo encargado de hacer esto es RTCP (Real-time Transport Control Protocol), el cual garantiza la entrega fiable de la información condescendiente con la función del protocolo TCP, pero a diferencia de este, realiza la función caracterizando un menor control adecuándose muy bien en su estructura de funcionamiento a lo dispuesto bajo UDP. RTP y RTCP funcionan de manera práctica entre las capas de red y de transporte permitiendo encapsular íntegramente los flujos con contenido multimedia.

IV. METODOLOGÍA

En este trabajo se busca demostrar que un estimador de ancho de banda disponible puede ser implementado en un generador de tráfico IPTV en modo *push* con el fin de aprovechar el ancho de banda disponible para mejorar la calidad de la transmisión o para enviar tráfico multimedia adicional. Para tal fin, se determinó la infraestructura de red necesaria para los experimentos, se definió el estimador de ancho de banda disponible a utilizar y finalmente se realizó la experimentación tomando como base los resultados del estimador y la captura de tráfico IPTV a través de *tcpdump*.

En cuanto a la red de pruebas, se estableció una infraestructura controlada para la realización de los experimentos. Esta infraestructura (*testbed*) se presenta en la Figura 1. Tres computadoras de propósito general con sistema operativo Linux se conectan entre sí a través de dos enrutadores y dos switches emulando el comportamiento de una red en el Internet. En un extremo de la red se ubica el equipo que actúa como servidor de contenidos IPTV y que realiza el envío de paquetes de prueba del estimador de ancho de banda disponible. En ese equipo etiquetado en la figura como Servidor IPTV, reside la aplicación *traceband_snd* y el archivo de video a ser transmitido a través de RTP.

En el otro extremo de la red se encuentran dos ordenadores. Uno etiquetado como *Cliente IPTV* que recibe el contenido

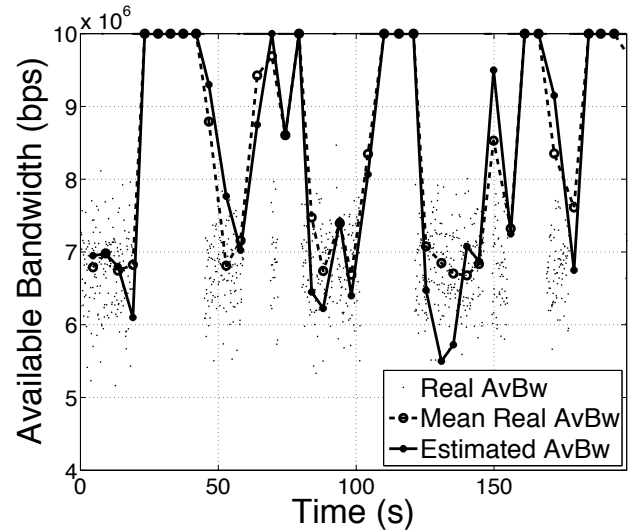


Figura 2. Efectividad de *Traceband*. Tomado de [20]

multimedia transmitido desde el servidor y el otro equipo que contiene la aplicación *traceband_rcv* para recibir los paquetes de prueba generados por el estimador de ancho de banda disponible y reportar al origen (*Servidor IPTV*) el resultado de la estimación. A través de *tcpdump* se capturan las trazas que muestran el ancho de banda consumido en la transmisión.

En cuanto al estimador de ancho de banda disponible, se utilizó *Traceband* teniendo en cuenta que la información de disponibilidad debe entregarse al generador de contenidos de manera frecuente (rápida) y sin generar para ello demasiado tráfico extra en la red. Esta alta velocidad y baja intrusión en la estimación implica una menor precisión del estimador como se mencionó en la sección II. La velocidad de estimación de *Traceband* le permite reaccionar rápidamente a variaciones generadas por tráfico en ráfagas (*bursty*) tal como se muestra en la Figura 2.

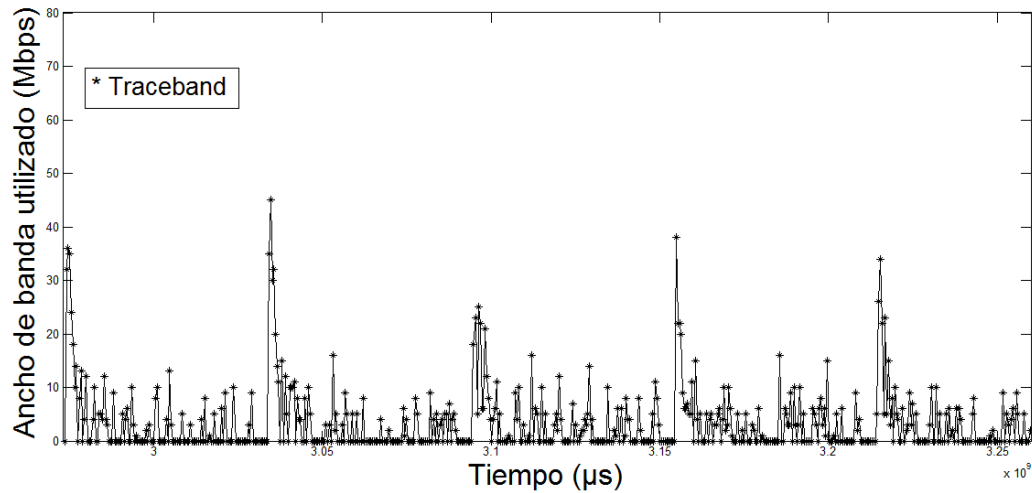


Figura 3. Ancho de banda utilizado por el generador de IPTV según *Traceband*

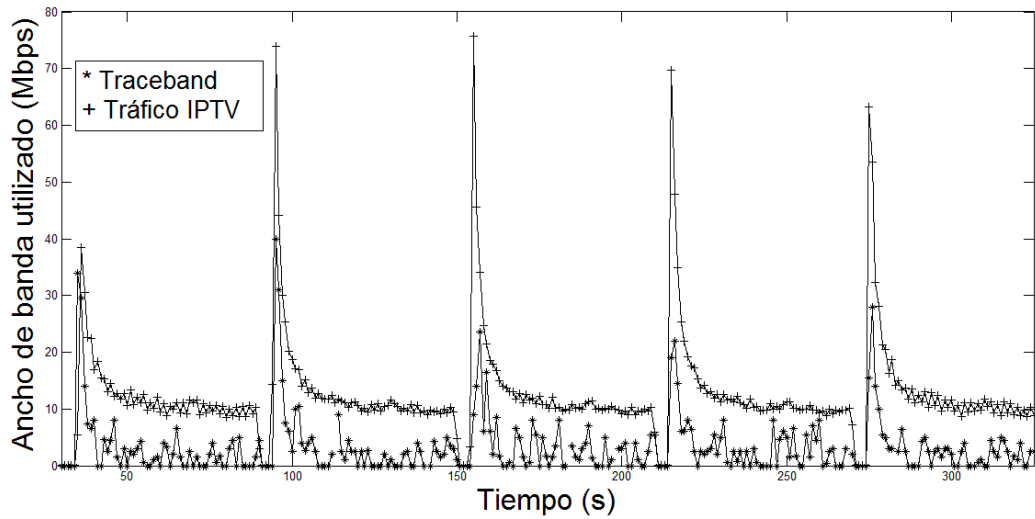


Figura 4. Comparación entre el ancho de banda utilizado por el tráfico IPTV según *Tcpdump* y el medido por *Traceband*

V. RESULTADOS

El objetivo de la experimentación fue el de observar la efectividad de *Traceband* para medir el ancho de banda consumido por el tráfico IPTV y de esta manera poder establecer la posibilidad de utilizarlo para indicarle, con alta periodicidad, al generador de contenidos de cuanto ancho de banda dispone para generar tráfico adicional o mejorar la calidad de transmisión del tráfico que se encuentre enviando.

El video utilizado en la experimentación permite conocer y estructurar su tasa de codificación en función de caracterizar el factor de tamaño de datos de la información que maneja cada componente de video. De esta manera puede caracterizarse la cantidad de información que maneja cada franja de video en el tiempo y por consiguiente correlacionar esta información con el ancho de banda requerido. Cinco secuencias iguales del video fueron transmitidas entre servidor y cliente IPTV. Cada secuencia tuvo una duración de sesenta segundos con un espacio entre secuencias de alrededor de dos segundos. Esto posibilita relacionar a través de la respuesta de *tcpdump*,

la cantidad de paquetes RTP transmitidos en un intervalo de tiempo y la correspondiente estimación de *Traceband* en el mismo intervalo. Es importante anotar que *tcpdump* reporta la utilización del enlace mientras que el estimador reporta el ancho de banda disponible (la porción no utilizada del canal). Para efectos de comparación, se calculó en *Traceband* la utilización del canal restando la capacidad máxima (100 Mbps) de lo reportado por el estimador.

La Figura 3 presenta, con la granularidad reportada por la herramienta, el ancho de banda utilizado (la capacidad máxima menos la disponible) para las cinco secuencias de video enviadas. Se observan los cinco patrones que inician con un consumo del canal por encima de 25 Mbps. Para poder verificar la efectividad de esta estimación del ancho de banda consumido, se compararon los valores obtenidos con los reportados por *Tcpdump*. Debido a que *Tcpdump* captura el tamaño de cada paquete que observa en el *Servidor IPTV*, puede reportar con mayor granularidad que *Traceband* el consumo del ancho de banda del canal. El estimador reporta el tamaño del tráfico cruzado después de enviar un tren de

paquetes de prueba de extremo a extremo. Por esta razón, fue necesario llevar los valores reportados por las dos herramientas a una granularidad común que se determinó del orden de segundos.

La Figura 4 muestra los valores de utilización del tráfico IPTV reportados por *Tcpdump* (valor real) y el reportado por el estimador de ancho de banda disponible. Es evidente que *Traceband* sobre estima la disponibilidad del canal y por lo tanto reporta un valor inferior al ancho de banda consumido. Los estimadores que trabajan bajo el Probe Gap Model tienen en general este comportamiento cuando la utilización del canal es baja. La razón es que pocos paquetes de tráfico cruzado se insertan en medio de los paquetes de prueba y por lo tanto no hay variación en la dispersión generando un reporte de no utilización del canal. Es evidente también que el estimador no solo logra una granularidad de estimación alta (del orden de segundos) sino que sigue los patrones del tráfico real de IPTV medido por *Tcpdump*. Se observa por ejemplo que al comienzo de cada secuencia de video transmitida hay un valor arto de consumo de ancho de banda. Este incremento en la utilización del canal es seguido por *Traceband* en todos los casos y corrobora lo presentado en la Figura 2 y reportado por los autores de la herramienta en cuanto a que *Traceband* reacciona rápidamente a cambios bruscos en la utilización del canal.

VI. CONCLUSIONES

Para el aprovechamiento del ancho de banda disponible en una transmisión de contenidos IPTV, se espera que un estimador pueda reportar valores de disponibilidad con una frecuencia adecuada que permita que el generador de contenidos reaccione rápidamente cuando el canal esté disponible. En este artículo se muestra como la herramienta *Traceband* puede reaccionar rápidamente a estos cambios sacrificando la exactitud en el valor de disponibilidad del canal. Teniendo en cuenta que el modelo de estimación basado en dispersiones requiere que haya tráfico fluido y significativo en la red, se espera que al aumentar la cantidad de tráfico cruzado (en valores cercanos al 30 % como se presenta en la Figura 2, se logre mayor exactitud en la estimación.

Frente a la posibilidad demostrada en este artículo en cuanto a que un estimador pueda seguir el patrón de ocupación del canal a lo largo del tiempo de una transmisión, se abre la posibilidad de que, a bajo costo de implementación, se pueda incluir el estimador en el generador de contenidos de manera que se pueda hacer una optimización en la utilización del canal para la mejora en la oferta de contenidos IPTV.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al grupo de Comunicaciones Multimedia de la Universidad Politécnica de Valencia por facilitar el contenido IPTV utilizado en la experimentación y por el apoyo en el análisis de los resultados.

REFERENCIAS

[1] A. Botta, A. Davy, B. Meskill, and G. Aceto, *Active Techniques for Available Bandwidth Estimation: Comparison and Application*, ser. Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg, 2013, vol. 7754, ch. 2, pp. 28–43.

[2] V. J. Ribeiro, R. H. Riedi, R. G. Baraniuk, J. Navratil, and L. Cottrell, “pathchirp: Efficient available bandwidth estimation for network paths,” in *Proceedings of the 4th Passive and Active Measurements Workshop*, vol. 2, 2003.

[3] T. Arsan, “Review of bandwidth estimation tools and application to bandwidth adaptive video streaming,” in *High Capacity Optical Networks and Enabling Technologies (HONET), 2012 9th International Conference on*, pp. 152–156.

[4] F. Hongcai, Y. Cao, and L. Yaqin, “Self-adaptive control of video transmission based on available bandwidth estimation,” in *Communications and Mobile Computing (CMC), 2010 International Conference on*, vol. 1, 2010, pp. 361–364.

[5] M. Jain and C. Dovrolis, “Path selection using available bandwidth estimation in overlay-based video streaming,” *Computer Networks*, vol. 52, no. 12, pp. 2411–2418, 2008.

[6] T. Tunali and K. Anar, “Adaptive available bandwidth estimation for internet video streaming,” *Signal Processing: Image Communication*, vol. 21, no. 3, pp. 217–234, 2006.

[7] J. Whitbeck, Y. Lopez, J. Leguay, V. Conan, and M. D. de Amorim, “Push-and-track: Saving infrastructure bandwidth through opportunistic forwarding,” *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 8, no. 5, pp. 682–697, 2012.

[8] F. Fraile, I. de Fez, R. Belda, and J. C. Guerri, “Evaluation of a background push download service for personal multimedia devices,” in *Consumer Electronics (ICCE), 2011 IEEE International Conference on*, pp. 231–232.

[9] C. D. Guerrero and M. A. Labrador, “Traceband: A fast, low overhead and accurate tool for available bandwidth estimation and monitoring,” *Computer Networks*, vol. 54, no. 6, pp. 977–990, 2010.

[10] —, “On the applicability of available bandwidth estimation techniques and tools,” *Computer Communications*, vol. 33, no. 1, pp. 11–22, 2010.

[11] E. Goldoni and M. Schivi, *End-to-End Available Bandwidth Estimation Tools, An Experimental Comparison*, ser. Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg, 2010, vol. 6003, ch. 13, pp. 171–182.

[12] F. Michaut and F. Lepage, “Application-oriented network metrology: Metrics and active measurement tools,” *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 7, no. 2, pp. 2–24, 2005.

[13] R. Prasad, C. Dovrolis, M. Murray, and K. Claffy, “Bandwidth estimation: Metrics, measurement techniques, and tools,” *IEEE Network*, vol. 17, no. 6, pp. 27–35, 2003.

[14] C. D. Guerrero and D. Salcedo, “On the reduction of the available bandwidth estimation error through clustering with k-means,” in *IEEE Latincom*, 2012.

[15] M. Jain and C. Dovrolis, “Pathload: A measurement tool for end-to-end available bandwidth,” in *Proceedings of the 3rd Passive and Active Measurements Workshop*, vol. 11, pp. 14–25, pathload.

[16] ITU, “Iptv standardization on track say industry experts,” Mar. 17, 2013 2006.

[17] D. Minoli, *IP multicast with applications to IPTV and mobile DVB-H*. Wiley-IEEE Press, 2008.

[18] G. O’Driscoll, *Next generation IPTV services and technologies*. Wiley-Interscience, 2008.

[19] Telefonica, *Imagenio: La nueva forma de ocio a la carta*, 2004, vol. 1.

[20] C. D. Guerrero and M. A. Labrador, “A hidden markov model approach to available bandwidth estimation and monitoring,” in *Proceedings of the Internet Network Management Workshop*.