

Estudio experimental de tráfico de video en redes IPv6 multicast IEEE 802.11ac

Higinio Facchini¹, Santiago Pérez¹, Alejandro Dantiacq¹, Gabriel Quiroga Salomón^{1,2},
Fabián Hidalgo¹, Gastón Cangemi¹, Mauricio Muñoz¹, Adrián Cárdenas¹

¹ CeReCoN – Departamento de Electrónica – Facultad Regional Mendoza – UTN
Rodríguez 273, Ciudad Mendoza
CP (M5502AJE) República Argentina
{higiniofac, santiagocp}@frm.utn.edu.ar

² Escuela de TICs – Universidad Nacional de Chilecito
9 de Julio 22 – Chilecito, La Rioja, Argentina
CP (5360) República Argentina
hgquiroga@undec.edu.ar

Abstract. The growing number of multimedia users involves an exponential increase in bandwidth requirements on networks. Consumers are increasingly demanding in terms of quality and performance of products based on video. This paper proposes an experiment of multicast video traffic in a network of a real laboratory as test bed, with clients working in the IEEE 802.11ac standard, and using IPv6. The videos were encoded in H.264, H.265, VP8 and Theora. And the experiments were carried out using a trailer of the movie Star Trek, and alternately for contrast, a video of a videoconference using Adobe Connect, of the same duration. This work is a continuation of experience made on wired networks for video traffic. The conclusions of the work will help to determine the configurations to be taken into account for the adequate management of similar networks and efficient use of resources available, without compromising the performance and QoS expected.

Keywords: Multicast traffic, Codecs, IEEE 802.11ac, IPv6 Networks

1 Introducción

En los últimos años, el tráfico de video ha crecido en forma exponencial, especialmente con el uso de los dispositivos móviles. Las redes inalámbricas basadas en el protocolo IEEE 802.11 (Wi-Fi) son, en la actualidad, los puntos de acceso a redes y servicios más utilizados en la mayoría de los ámbitos conocidos (laborales, académicos y de esparcimiento). Se espera que antes de 2020, los servicios y aplicaciones de video superen el 70% del tráfico total en redes de datos.

Sin embargo, para las aplicaciones exigentes, como las de video, hay que tener en cuenta la disponibilidad del ancho de banda y demás recursos compartidos de las redes Wi-Fi. Las mismas han mejorado su performance de acuerdo a las nuevas normas IEEE 802.11n e IEEE 802.11ac. Pero el incremento del tráfico de video, que

proporcionalmente representa una mayor carga para la red, y la cantidad de dispositivos móviles, supera muchas veces las mejoras obtenidas con estas tecnologías de mayores prestaciones. El uso del tipo de tráfico de multidifusión o multicast puede ser una solución interesante para acotar el impacto de una transmisión de video simultánea, a un grupo de usuarios, dado que ahorra recursos de la red, enviando un único flujo de datos igual a todos los receptores.

Además, se observa el creciente uso del protocolo de Internet en su versión 6 (IPv6), por lo que es interesante conocer el comportamiento del tráfico de video en redes Wi-Fi y, bajo este nuevo protocolo, comprender los requisitos necesarios, para ayudar a los administradores de la red a una mejor implementación.

En este trabajo se describe un experimento de tráfico de video multicast en una red de laboratorio real como test bed. Se usó una topología de redes cableadas e inalámbricas, con clientes inalámbricos trabajando en las normas IEEE 802.11ac, usando IPv6, el Software FFmpeg Server y Client, como servidor y clientes de video, y el analizador de tráfico WireShark. El tráfico de video se codificó en H.264, H.265, VP8 y Theora, para evaluar y comprender el impacto de distintos codecs sobre el tráfico de la red. Y los experimentos se realizaron usando un tráiler de video de la película Star Trek (Video 1) y, alternativamente para contraste, un video de una videoconferencia usando Adobe Connect (Video 2), de la misma duración y resolución. Este trabajo es una continuación de experimentaciones realizadas sobre redes cableadas, para tráfico de video con codecs H261, H263 y H264 en IPv4.

2 Estado del arte

En este apartado se plantea en forma resumida las principales características de los protocolos y herramientas a utilizadas.

2.1 Multidifusión IP

La multidifusión IP es una tecnología para conservar el ancho de banda, específicamente diseñada para reducir el tráfico, transmitiendo un único flujo de información a miles de destinatarios potenciales.

Los routers (enrutadores) emplean protocolos multidifusión que construyen árboles de distribución para transmitir el contenido multidifusión, que aseguran la mayor eficiencia para el envío de datos a múltiples receptores. En IPv6 se utilizan protocolos como PIM-SM, PIM-SSM u otros. Para nuestro trabajo se utilizó PIM-SM (Protocol Independent Multicast – Sparse Mode), para continuar la línea de investigación utilizada en IPv4.

2.2 Codec de video

La compresión de video es un facilitador fundamental para estas aplicaciones. Existe un número importante de algoritmos o codecs, ya sean estándares o de propiedad exclusiva, para que sea práctico almacenar y transmitir video en formato digital. La compresión a menudo implica compromisos entre los requisitos de calidad de imagen y otras necesidades de la aplicación.

Los Codecs de video utilizados en este trabajo son:

- H.264/MPEG-4 AVC: Es una norma promovida conjuntamente por la UIT y la ISO, que ofrece un gran avance significativo en la eficiencia de compresión para lograr una reducción de alrededor de 2 veces en la velocidad de bits en comparación con MPEG-2 y MPEG-4 de perfil simple.
- H.265/ MPEG-H Parte2/ High Efficiency Video Coding (HEVC): Define un formato de compresión de video, sucesor de H.264/MPEG-4 AVC, desarrollado conjuntamente por la ISO/IEC Moving Picture Experts Group (MPEG) y ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG), como ISO/IEC CD 23008-2 High Efficiency Video Coding. Este estándar puede utilizarse para proporcionar mejor calidad de videos de bajo bitrate con la misma tasa de datos. Es compatible con la televisión en ultra-alta definición y resoluciones hasta 8192x4320
- VP8: Es un códec de video de On2 Technologies anunciado el 13 de septiembre de 2008. El 19 de mayo de 2010, Google, que adquirió On2 Technologies en 2009, liberó el códec VP8 como código abierto (bajo una licencia permisiva similar a la licencia BSD).
- Theora: Es un códec de video libre desarrollado por la Fundación Xiph.Org, como parte de su proyecto Ogg. Basado en el códec VP3. Google, en 2010, empezó a financiar parte del proyecto de Ogg Theora Vorbis. Theora es un códec de video de propósito general con bajo consumo de CPU.

2.3 Flujo (Streaming) de video

Existe una gama muy diversa de transmisiones de video, que tienen diferentes propiedades y/o condiciones de funcionamiento. Por ejemplo, las aplicaciones de transmisión de video pueden ser tipo punto a punto, de multidifusión, o difusión, y el video puede estar pre-codificado (almacenado), o puede codificarse en tiempo real (por ejemplo, con videoteléfono interactivo o en videoconferencias). Los canales de video para la transmisión también pueden ser estáticos o dinámicos, con conmutación de paquetes o de circuitos, pueden soportar una velocidad de transmisión de bits constante o variable, y se puede considerar alguna forma de Calidad de Servicio (QoS), o sólo puede proporcionar tráfico de mejor esfuerzo.

Hay una serie de problemas básicos que afectan a la transmisión de video a través de una red, ya que, en general, sólo se ofrece servicio de mejor esfuerzo. Por lo tanto, un objetivo clave de la transmisión de video es diseñar un sistema fiable para entregar video de alta calidad a través de una red, teniendo en cuenta los siguientes aspectos: ancho de banda, variación de retardo (jitter) y tasa de pérdidas de paquetes o tramas.

2.4 Protocolo IEEE 802.11ac

La norma IEEE 802.11ac ofrece velocidades de datos de hasta 1.3 Gigabits por segundo (Gbps), lo que permite a los dispositivos manejar aplicaciones exigentes como Ultra HD y video 4K, transmisión multimedia y transferencia rápida de archivos en tabletas, en los dispositivos de juegos, en los teléfonos y muchos otros dispositivos. Además, proporciona una experiencia de movilidad de mayor rendimiento. Las principales características son: la comunicación tipo MIMO (multiple entrada-múltiple salida) para múltiples usuarios y mayor ancho de banda.

2.5 Protocolo de Internet versión 6 – Ipv6

IPv6 es una evolución de IPv4. El protocolo se instala como una actualización de software, en la mayoría de los dispositivos y sistemas operativos. Las estadísticas muestran que a principios de 2011 (cuando se agotó el grupo IANA IPv4), el porcentaje de usuarios nativos de Internet IPv6 era de, aproximadamente, 0.2%. En noviembre de 2018 se estaba en el 22.25%. La cantidad de usuarios IPv6 se ha estado duplicando, aproximadamente, cada nueve meses. Las principales diferencias con respecto a IPv4 son: espacio de direccionamiento extendido, autoconfiguración, simplificación del encabezado y soporte mejorado para opciones y extensiones.

3 Escenarios y recursos experimentales

Los trabajos de investigación, relacionados con la temática, muestran, en general, una falta de uniformidad de los escenarios de experimentación, en la cantidad y tipos de codecs, en los videos utilizados, etc. Estos y otros aspectos complican, en su conjunto, los contrastes entre trabajos contemporáneos entre sí, y los realizados previamente. Además, se observa que hay pocos trabajos disponibles con estudios experimentales y de simulación de redes Wi-Fi, como propuestas que combinen en un laboratorio de prueba las limitaciones de estas redes, la problemática de las variantes de los codecs para tráfico de vídeo, y el uso de la multidifusión IPv6 con las normas IEEE 802.11ac.

3.1 Protocolo de Internet versión 6 – Ipv6

La topología genérica propuesta incluye un servidor de streaming y dispositivos móviles y PCs de escritorio con conectividad Wi-Fi, como clientes conectados en los extremos de una red. Dicha red está formada por routers y switches (conmutadores) con distintos tipos de enlaces interconectando a los mismos. La Figura 1 muestra la topología de trabajo.

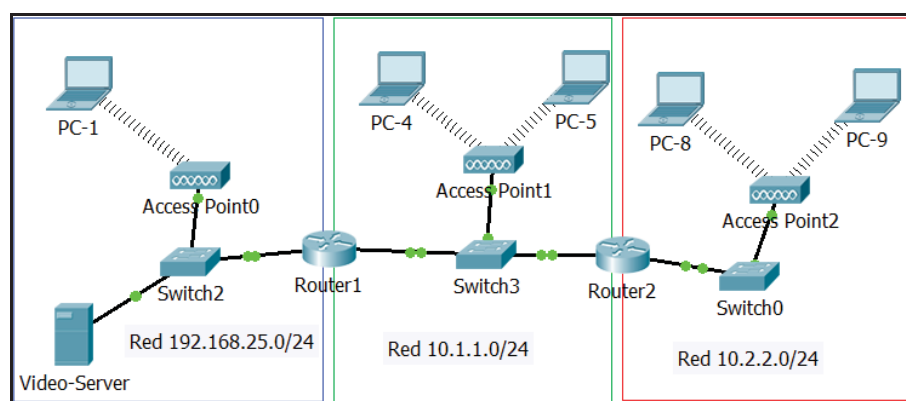


Fig. 1. Topología de red utilizada

En esta topología, los enlaces indicados con línea continua son del tipo FastEthernet con una velocidad de transmisión de 100 Mbps, mientras que los dispositivos clientes se conectan bajo norma 802.11ac. Para el funcionamiento entre los routers se configuró el protocolo de enrutamiento unicast OSPFv2, y el protocolo de enrutamiento multicast PIM-SM. Los routers utilizados son Cisco 2811, y los APs fueron Cisco Linksys LAPAC 1200. El software utilizado como servidor de streaming y los clientes receptores estaban basados en FFmpeg.

3.2 Video utilizados

Se utilizaron dos archivos de video codificados con los codecs mencionados previamente, en la modalidad on demand. Un video es un tráiler de la película Star Trek, y el otro es un segmento de una videoconferencia, usando el software Adobe Connect, con la misma duración y calidad que el video anterior. Las Tablas 1 y 2 muestran la comparación de las características propias de cada códec para cada video.

3.3 Metodología de trabajo

Se realizaron una serie de experimentos con las siguientes consideraciones y secuencia de pasos comunes para cada video:

- a) Se configuraron los archivos de video codificados en los 4 formatos mencionados en el servidor de streaming,
- b) Antes de comenzar las mediciones se sincronizaron en tiempo todos los equipos involucrados en la topología, usando un servidor NTP local.
- c) Desde el servidor se envió el archivo del primer video en un codec en particular a la red en formato multidifusión (multicast).
- d) Posteriormente, se cambió el formato de video a los otros tres codecs de video, repitiendo el paso c.

Durante cada ensayo, las mediciones se realizaron capturando tráfico en el servidor y en cada una de las PCs conectadas por Wi-Fi, usando el software sniffer Wireshark [14]. Con este software se generó un archivo con la captura de todas las tramas o paquetes de Capa 2, para cada ensayo, tanto del server como de las PCs. En estos archivos se dispuso de toda la información de cada una de las tramas capturadas durante el ensayo, como el día y hora exacta de la captura de cada trama, las direcciones MAC e IP origen y destino, el protocolo de capa de transporte y/o de aplicación, el tamaño de trama, etc.

3.4 Métricas

En base a la experimentación realizada, se obtuvieron una serie de métricas, tanto para el servidor como para los clientes. Se construyeron tablas con datos individuales netos para cada dispositivo y, luego, se determinaron los promedios de las mediciones. Las métricas obtenidas fueron: Tiempo total del vídeo [Tt], Número total de tramas o paquetes [NP], Número total de bytes [NB], Tamaño promedio de los paquetes [Tp], Espacio intertrama o Tiempo entre tramas o paquetes [EI], y Tasa de transferencia efectiva [BR]. Además, se registraron otras métricas y mediciones,

como: Retardos de tiempo involucrados en la transmisión [Rt], Diferencia de retardo (o jitter) [DR], Número de errores obtenidos [Eo], y las Distribuciones estadísticas.

Tabla 1. Propiedades del Video 1 – Trailer Star Trek

Video 1	H.264	H.265	Theora	VP8
<i>Format</i>	MPEG-4	MPEG-4	Ogg	WebM v2
<i>File size</i>	79,9 MiB	72,3 MiB	83,3 MiB	78,6 MiB
<i>Duration</i>	2 min 11 s	2 min 11 s	2 min 11 s	2 min 11 s
<i>Bit rate mode</i>	Variable	Variable	Variable	Variable
<i>Bit rate</i>	5 109 kb/s	4 620 kb/s	5 329 kb/s	5 028 kb/s
Video				
<i>Format</i>	AVC	HEVC	Theora	VP8
<i>Bit rate</i>	5 011 kb/s	4 514 kb/s	5 010 kb/s	4 721 kb/s
<i>Width [pixeles]</i>	1 280 pixeles	1 280 pixeles	1 280 pixeles	1 280 pixeles
<i>High [pixeles]</i>	528 pixeles	528 pixeles	528 pixeles	528 pixeles
<i>Aspect ratio</i>	2,4:1	2,4:1	2,4:1	2,4:1
<i>Frame rate mode</i>	constant	constant	constant	constant
<i>Frame rate [fps]</i>	23,976 FPS	23,976 FPS	23,976 FPS	23,976 FPS
<i>Bits/(pixel*frame)</i>	0.309	0.279	0.309	0.291
Audio				
<i>Format</i>	AAC LC	AAC LC	Vorbis	Vorbis
<i>Bit rate mode</i>	Variable	constant	Variable	Variable
<i>Bit rate</i>	98,7 kb/s	99,7 kb/s	98,7 kb/s	98,7 kb/s
<i>Maximum bit rate</i>	167 kb/s	167 kb/s	167 kb/s	167 kb/s
<i>Channel</i>	2 canales	2 canales	2 canales	2 canales
<i>Sampling rate</i>	44,1 kHz	44,1 kHz	44,1 kHz	44,1 kHz
<i>Track size</i>	1,54 MiB (2%)	1,56 MiB (2%)	1,54 MiB (2%)	1,54 MiB (2%)

Tabla 2. Propiedades del video 2 – Videoconferencia Adobe

Video 2	H.264	H.265	Theora	VP8
<i>Format</i>	MPEG-4	MPEG-4	Ogg	WebM - v2
<i>File size</i>	6,02 MiB	6,10 MiB	8,84 MiB	11,5 MiB
<i>Duration</i>	2 min 11 s	2 min 11 s	2 min 11 s	2 min 11 s
<i>Bit rate mode</i>	Variable	Variable	Variable	Variable
<i>Bit rate</i>	385 kb/s	390 kb/s	565 kb/s	733 kb/s
Video				
<i>Format</i>	AVC	HEVC	Theora	VP8
<i>Bit rate</i>	256 kb/s	256 kb/s	407 kb/s	568 kb/s
<i>Width [pixeles]</i>	1 280 pixeles	1280 pixeles	1 280 pixeles	1 280 pixeles
<i>High [pixeles]</i>	720 pixeles	720 pixeles	720 pixeles	720 pixeles
<i>Aspect ratio</i>	16:9	16:9	16:9	16:9
<i>Frame rate mode</i>	constant	constant	constant	constant
<i>Frame rate [fps]</i>	30,000 FPS	30,000 FPS	30,000 FPS	30,000 FPS
<i>Bits/(pixel*frame)</i>	0.009	0.009	0.015	0.021
Audio				
<i>Format</i>	AAC LC	AAC LC	Vorbis	Vorbis
<i>Bit rate mode</i>	Variable	Variable	Variable	Variable
<i>Bit rate</i>	126 kb/s	126 kb/s	127 kb/s	127 kb/s
<i>Maximum bit rate</i>	257 kb/s	127 kb/s	257 kb/s	257 kb/s
<i>Channel</i>	2 canales	2 canales	2 canales	2 canales
<i>Sampling rate</i>	44,1 kHz	44,1 kHz	44,1 kHz	44,1 kHz
<i>Track size</i>	43,066 FPS	43,066 FPS	1,99 MiB (22%)	1,99 MiB (17%)

4 Resultados de la experimentación

En la Tabla 3, y como resumen, se muestran los datos netos promedios para las más importantes métricas definidas previamente. Dado que se trabajó en una topología de laboratorio controlada, no hubo errores de transmisión ni tramas perdidas en forma significativa. Se observa que existe una alta dependencia sobre las características del tipo de video transmitido, y del códec utilizado. La videoconferencia representa una carga de tráfico del orden del 80-90% menor que una película de iguales características de resolución y, por lo tanto, tendrá una menor cantidad de tramas, un mayor espacio intertramas promedio o una menor tasa de bits, en similar proporción. Además, se observa que para el video 1, el promedio de los codecs, requiere 94.000 tramas para transmitir el trailer. Mientras que para el video 2, el promedio de los codecs demanda 8.220 tramas para transmitir la videoconferencia de la misma duración. Es decir, casi 90% menos. Dado que los videos tienen la misma duración es de esperar que para el video 1 el espacio intertrama sea sustancialmente menor. Efectivamente, el tiempo intertrama promedio de los codecs para el video 1 es de 1,445 mseg, mientras que para el video 2 es de 15,7345 mseg. Aproximadamente un 90% más.

Por cuestiones de espacio, se presenta con más detalle el comportamiento de la compresión usando la codificación H265. Las Figuras 2 y 3 muestran la distribución de los tamaños de las tramas y de los espacios intertramas para el video 1, respectivamente. En la Figura 2 se observa una alta concentración de tramas, del orden de las 44.000 tramas para cada caso, para una longitud de 95 bytes y de 1510 bytes (la casi totalidad de las tramas). Mientras que en la Figura 3 se destaca que casi el 90% de las tramas tiene un espacio intertrama por debajo de los 5 mseg.

Las Figuras 4 y 5 presentan la distribución de los tamaños de las tramas y de los espacios intertramas para el video 2, respectivamente. En la Figura 4 se observa una distribución mayor de las tramas según el tamaño; un 26 % corresponden a las tramas de más de 1500 bytes, otro 25 % en el orden de los 1150 bytes, y un 35 % alrededor de los 200 bytes. En la Figura 5 se observa que un 32 % de las tramas tiene un espacio intertrama del orden de un mseg, un 35% alrededor del 20 mseg, un 15 % en los 30 mseg, y el resto se distribuye mayoritariamente entre los 10, 41 y 50 mseg.

Tabla 3. Métricas promedio

Codec	Número de paquetes NP	Tiempo intertrama promedio EI [s]	Número de bytes NB [Mbytes]	Tamaño de paquete promedio Tp [bytes]	Tasa de bits BR [Mbits/s]
Video 1 – Trailer Star Trek					
<i>H264</i>	102659	0,00128	82,80746	806,62	5,04901
<i>H265</i>	87903	0,00148	70,85176	806,02	4,34782
<i>Theora</i>	75218	0,00174	60,37944	802,72	3,69813
<i>VP8</i>	110202	0,00128	82,28519	802,38	5,01721
Video 2 – Videoconferencia Adobe					
<i>H264</i>	8067	0,015736	6,908887	856,44	0,421429
<i>H265</i>	7943	0,015971	6,910678	870,03	0,421507
<i>Theora</i>	6782	0,018576	9,785508	1442,86	0,596617
<i>VP8</i>	10090	0,012655	12,761038	1264,72	0,778314

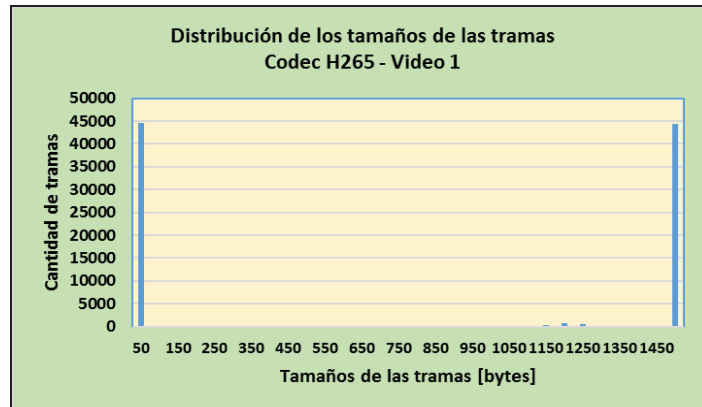


Fig. 2. Distribución de tamaños de tramas del video 1 usando el codec H265

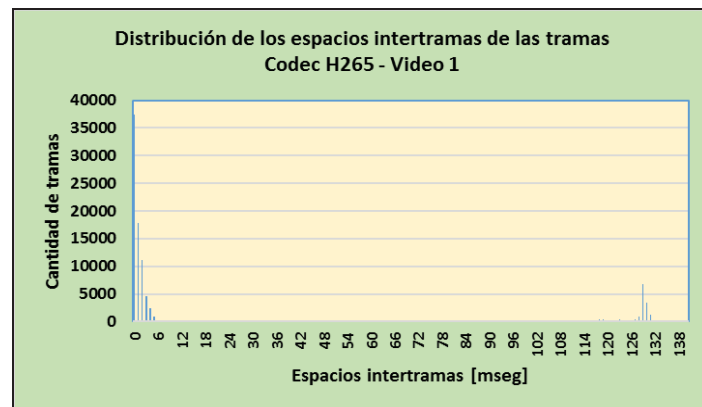


Fig. 3. Distribución de espacios intertramas del video 1 usando el codec H265

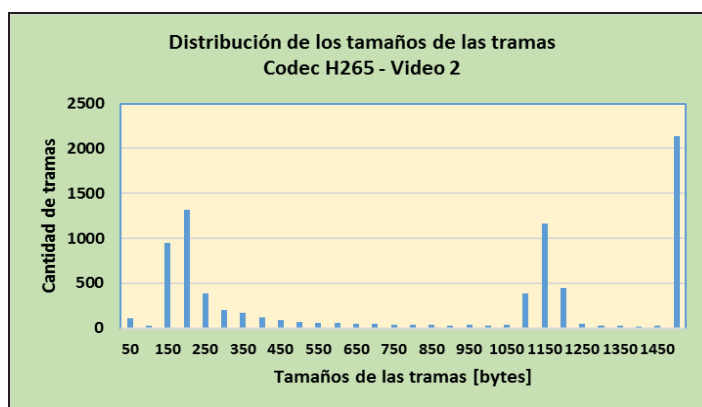


Fig. 4. Distribución de tamaños de tramas del video 2 usando el codec H265

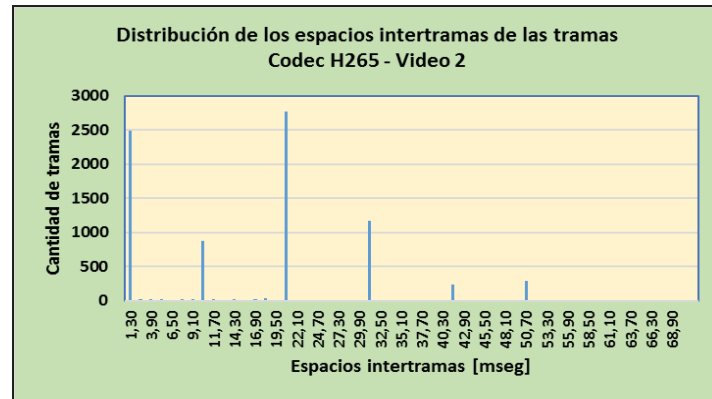


Fig. 5. Distribución de espacios intertramas del video 2 usando el codec H265

5 Conclusiones

La más importante motivación para este trabajo fue conocer el comportamiento del tráfico de video en redes Wi-Fi, usando el protocolo IPv6, y comprender los requisitos necesarios de la red contrastando dos casos claramente diferenciados: el tráiler de una película y el video de una videoconferencia. Estos casos de estudio ayudarán a los administradores, diseñadores, planificadores, analistas y simuladores del tráfico de las redes para una mejor implementación.

Utilizando el escenario detallado, se realizaron una serie de experimentos. Entre los resultados se encuentran los valores de las métricas directas y promedio para cada uno de los 4 codecs utilizados para el Video 1 y 2.

Los Videos en comparación presentan características similares en cuanto a la duración y a la resolución, pero son bastante diferentes en otros aspectos (dinámica, peso en Mbytes del archivo, etc.).

Se concluyó cuantitativamente que existe una alta dependencia sobre las características del tipo de video transmitido (película o videoconferencia), y en menor medida del códec utilizado. Además, que la topología de la red y el tipo de equipamiento no influye notoriamente, ya que para equipos clientes ubicados en distintos nodos de la red, el comportamiento es prácticamente idéntico.

Esta comparación, a nuestro entender, es muy útil para comprender el conocimiento que debe tenerse en cuenta en la gestión de la red Wi-Fi, que posea tráfico de video. Evidentemente, existe una gran diversidad de carga en la red, dependiendo del tipo de video. Esta diversidad debe tenerse en cuenta en la planificación de la red. Además, muchos analistas pueden usar esta información para la parametrización de sus estudios de simulación.

Referencias

1. Cisco Mobile VNI, 2017, "Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016–2021 White Paper, [online] Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>
2. Santiago Pérez, Javier Campos, Higinio Facchini and Alejandro Dantiacq, "Experimental study of unicast and multicast video traffic using WAN test bed", [online] Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7585260>.
3. Santiago Pérez, Luis Marrone, Higinio Facchini and Fabian Hidalgo, "Experimental Study of Multicast and Unicast Video Traffic in WAN Links", IEEE Latin American Transactions, Vol. 15, issue 10, ISSN: 1548-0992, pp. 1847-1855, octubre 2017.
4. John G. Apostolopoulos, Wai-tian Tan, Susie J. Wee - Mobile and Media Systems Laboratory HP Laboratories Palo Alto - Video Streaming: Concepts, Algorithms, and Systems - [online] Available: <http://www.hpl.hp.com/techreports/2002/HPL-2002-260.pdf>.
5. A. Abdalla, A. Mazhar, M. Salah and Sahar Khalaf, "Comparative Study of Compression Techniques for Synthetic Videos," The International Journal of Multimedia & Its Applications (IJMA), vol. 6, no.2, April 2014.
6. D. Grois, D. Marpea, T. Nguyena and O. Hadarb, "Comparative Assessment of H.265/MPEG-HEVC, VP9, and H.264/MPEG-AVC Encoders for Low-Delay Video Applications", SPIE Proceedings, vol. 9217, Applications of Digital Image Processing XXXVII, California, USA, September, 2014
7. Y. Sun, I. Sheriff, E. Belding-Royer and K. Almeroth, "An Experimental Study of Multimedia Traffic Performance in Mesh Networks," Workshop on Wireless Traffic Measurements and Modeling, pp.25-30, Seattle, Washington, USA, June, 2005.
8. R. Addu and V. Potuvaradanam, "Effect of Codec Performance on Video QoE for videos encoded with Xvid, H.264 and WebM/VP8," Master Thesis, Blekinge Institute of Technology, Karlskrona, Sweden, August 2014
9. Y. Shin, M. Choi, J. Koo, Y. Kim, J. Ihm and S. Choi, "Empirical Analysis of Video Multicast over WiFi," Third International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), pp. 381-386, China, 2011
10. S. Tanwir, H. Perros and B. Anjum, "A QoS evaluation of video traffic models for H.264 AVC video," Fifth International Conference on Next Generation Networks and Services (NGNS), pp. 313-320, Casablanca, Morocco, May, 2014
11. Available: <https://www.ffmpeg.org/>
12. Video 1, Star Trek, unpublished Available: https://www.youtube.com/watch?v=iLbnDWS3f_g
13. Video 2, Videoconference Adobe Connect, Available: https://www.youtube.com/watch?v=iLbnDWS3f_g
14. Available: <https://www.wireshark.org/>