

## Mejora de la Calidad en Redes WLAN Coordinadas a través de SDWN

Julián Fernández Navajas, Luis Sequeira Villarreal, José Ruiz Mas, José M<sup>a</sup> Saldaña Medina  
Grupo CeNITEQ– Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)  
Dpt. IEC. EINA, Universidad de Zaragoza  
Edif. Ada Byron, 50018, Zaragoza  
{navajas, sequeira, jruiz, jsaldana}@unizar.es

**Resumen-** En el presente trabajo se propone una arquitectura capaz de mejorar la calidad de las comunicaciones multimedia en redes WLAN coordinadas, mediante la utilización de SDWN (Software Defined Wireless Networks). Para esto se requiere que soluciones SDN (software Defined Network) sean adaptadas para poder identificar los parámetros propios de las redes Wi-Fi, tales como interferencias, movilidad, selección de canales, etc. y sean capaces de abordar los problemas derivados de los requerimientos de calidad de las estaciones que comparten la misma red inalámbrica. En conclusión, este trabajo que tendrá formato de “work in progress” busca qué pruebas plantear en un entorno controlado de WLAN con SDWN para así mejorar la calidad de las comunicaciones multimedia.

**Palabras Clave-** WLAN, SDN, SWDN, Wi-Fi

### I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años estamos asistiendo a un incremento en el uso de las comunicaciones inalámbricas. Esto es debido a las facilidades de utilización por parte del usuario final, tanto en los dispositivos móviles como en las infraestructuras de red. Como contrapunto, estas tecnologías son más complejas de implementar, sobre todo si queremos desplegarlas en entornos amplios y de forma coordinada, como sucede en escenarios tales como aeropuertos, áreas urbanas, centros comerciales, etc.

En particular, la tecnología inalámbrica que mayor popularidad está adquiriendo es IEEE 802.11 (conocida popularmente como Wi-Fi). Ello explica que diferentes fabricantes hayan desarrollado soluciones que permitan coordinar múltiples puntos de acceso Wi-Fi para dar cobertura a una zona. Sin embargo, estas soluciones son cerradas y resultan poco flexibles frente a los nuevos retos de escalabilidad y de calidad de experiencia en las comunicaciones, que se plantean en los escenarios

anteriormente citados y que se encuentran en constante evolución.

Una solución inmediata para Wi-Fi es cambiar a la banda de 5 GHz, que ofrece mejores prestaciones por estar menos saturada. Esto puede solucionar el problema por un corto periodo de tiempo pero, a la postre, volvería a aparecer. Por eso se deben buscar otras alternativas que proporcionen funcionalidades coordinadas en el balanceo de carga, la planificación de canales, etc.

En la actualidad existen trabajos que desarrollan diferentes propuestas para unificar todas estas posibles actuaciones de coordinación. Así en [1, 2] se propone como solución coordinada la utilización de SDN (Software Defined Networks) en estos entornos inalámbricos. Para esto se requiere que dichas infraestructuras SDN sean adaptadas, para poder así identificar los parámetros propios de las redes Wi-Fi, tales como interferencias, movilidad, selección de canales, etc., y sean capaces de abordar los problemas derivados de las necesidades de calidad de las estaciones (STA a partir de ahora) que comparten la misma red inalámbrica.

En Wi-Fi las STA disponen de sus propios algoritmos para seleccionar, de manera local y en base a la potencia de señal recibida, el punto de acceso (AP a partir de ahora) al que asociarse, de entre todos aquellos AP que pertenezcan a la red configurada. Además, cuando una STA detecta otro AP de la misma red, con mayor potencia de señal recibida, sus algoritmos pueden desencadenar un cambio de asociación (*handoff*) de un AP a otro. Una primera consecuencia es que las STA pueden llegar a asociarse a un AP que está saturado, en cuanto a tráfico soportado. Un segundo efecto negativo es que las STA pueden cambiar, sin previo aviso, de un AP a otro, lo que en el mejor de los

casos puede tardar varios cientos de milisegundos, con la consiguiente pérdida de paquetes, o incluso puede suponer la pérdida de la comunicación a nivel IP. Todo ello supone un deterioro en la calidad, sobre todo para las comunicaciones en tiempo real.

Una posible solución al problema es inhibir este comportamiento y sustituirlo por un *seamless handoff* controlado por la red en el que las STA crean estar siempre conectadas al mismo AP. Con este fin, se propone una nueva arquitectura, basada en SDN, en la que, incorporando soluciones coordinadas como APs virtuales (LVAP, *Light Virtual Access Point*) a los que se conectan las STA, se mejora la calidad de las comunicaciones en la red inalámbrica.

En resumen, el objetivo del presente trabajo es la evaluación de la calidad de las comunicaciones multimedia existentes en una red Wi-Fi multicanal al introducir una arquitectura SDWN con funcionalidades inteligentes.

## II. TRABAJOS RELACIONADOS

Una primera propuesta para solucionar los problemas ya comentados está descrita en [3]. La idea es que los APs reales utilicen diferentes LVAP, uno por cada STA presente en la red. De esta manera cada STA ve un único AP (LVAP), incluso si va cambiando de AP real a causa de la propia movilidad. Como consecuencia, las STA evitan la reasociación pero no el asociarse a un AP saturado. Una limitación de esta propuesta es que todos los AP deben trabajar en el mismo canal.

La anterior solución no aborda en profundidad el problema de cómo se gestiona el paso de un AP a otro. Para ello se plantea un segundo trabajo [4] en el que se define un protocolo distribuido entre los AP para informarse de la presencia de las diferentes STA. De nuevo está basado en el uso de LVAP y utiliza un único canal Wi-Fi. También hay que indicar que este método no entra en profundidad en el problema de que las STA se conecten a un AP saturado.

El siguiente paso, presentado en [5], consiste en definir un protocolo centralizado (coordinación) para la gestión de los AP y STA presentes, basado en SDN. Aparece la figura de un controlador que gestiona cada uno de los LVAP asociados a cada una de las STA. Así, el controlador puede decidir que una STA no se conecte a un AP que se encuentre saturado, mediante un algoritmo de balanceo de carga. Esto supone tener en cuenta la calidad de las comunicaciones para el correcto funcionamiento del sistema. Este método sigue trabajando en un único canal y presenta problemas de escalabilidad cuando crece el número de STA (o lo que es lo mismo, de LVAP) en la red, porque por cada LVAP, cada AP real debe enviar periódicamente un *beacon unicast* a cada STA.

## III. ARQUITECTURA SDWN PROPUESTA

La arquitectura propuesta está basada en SDN, pero adaptada al entorno *wireless* que nos ocupa. Como ya se ha comentado, el objetivo es controlar los

mecanismos por los cuales las STA, que tienen configurada una misma red a la que conectarse, se asocian a un determinado AP y se desasocian de éste para asociarse a otro que consideran con mejores prestaciones. Para ello vamos a enumerar una serie de condiciones que debemos cumplir en nuestro diseño:

- La arquitectura propuesta no debe requerir ningún cambio en las STA.

- Los usuarios se desplazan a una velocidad propia de quien va caminando y no contemplamos velocidades superiores.

- El sistema de control debe ser centralizado y tener clara la separación entre plano de control y plano de datos. De esta manera queremos que nuestra arquitectura esté desarrollada previendo una futura interacción con otras arquitecturas de movilidad como 3G o 4G.

- Los servicios escogidos a los que debemos proporcionar calidad son multimedia en tiempo real.

- El principal parámetro a tener en cuenta para la realización de la asociación y desasociación de los STA en los AP debe ser la calidad percibida por los usuarios de los servicios.

- Debemos trabajar en un entorno multicanal y tener presentes los problemas de escalabilidad.

En la Figura 1 se muestra la arquitectura SDN propuesta, donde están separados los planos de control y de datos. En ella se puede observar cómo un conjunto de aplicaciones de red inteligentes (*smart functionalities*) interactúan (*northbound protocols*) con un plano de control (*controller*) para gobernar (*southbound protocols*) el funcionamiento y la transferencia de información en el plano de datos.

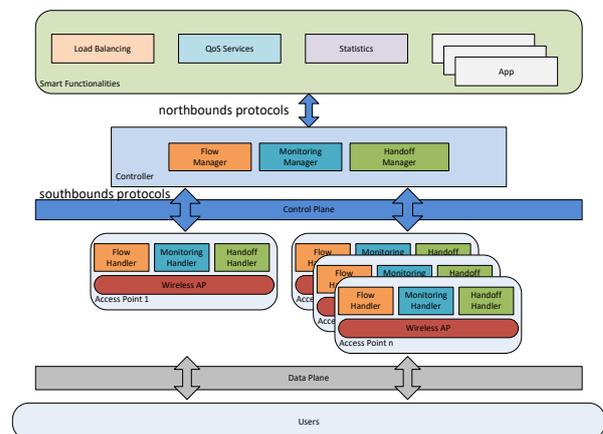


Fig. 1. Arquitectura SDN propuesta.

Las aplicaciones de red nos permiten dotar a nuestra arquitectura de la inteligencia necesaria para llevar a cabo funcionalidades tales como *Load Balancing*, *QoS Services* o simplemente *Statistics*, entre otras, gracias a los procesos de gestión (*manager*) existentes en el controlador. Estos gestores, en acciones tanto conjuntas como separadas, rigen el comportamiento de procesos residentes en los elementos de red controlados:

- Flow Handler*: proceso que permite identificar, ubicar y controlar los flujos de datos asociados a los usuarios. En el caso de Wi-Fi permite la gestión de elementos de

red como Virtual Switch (OpenFlow) y de LVAP y, por tanto, la identificación y (re)ubicación de STA.

-*Monitoring Handler*: proceso continuo de recogida de información relevante (*scanning*) asociada a los equipos y usuarios existentes en la red. En el caso de Wi-Fi sería información relevante de la red y servicios, como tasa, ancho de banda, tamaño paquetes, potencias, interferencias, etc.

-*Handoff handler*: proceso que genera las acciones necesarias de red para la (re)ubicación real de equipos de usuario. En el caso de Wi-Fi posibilita el cambio de AP y canal a una STA sin que necesite funciones adicionales que corten la comunicación a nivel IP o superiores (*Channel Switch Announcement*)

Una acción conjunta de los gestores sería, por ejemplo, el caso de un *seamless handover* debido a una redistribución de la carga de tráfico (*Load Balancing*). Así, el gestor de *handoff* se pone en marcha tras concluir con el gestor de monitorización la necesidad de un traspaso de una STA hacia un determinado AP que reúne las condiciones adecuadas para mantener la calidad del servicio. Será el gestor de flujos el que propicie el traspaso de unos flujos de datos de un AP a otro AP haciendo los cambios oportunos en los elementos de control implicados (LVAP, *virtual switches* a través de OpenFlow, etc.).

#### IV. IMPLEMENTACIÓN

La implementación llevada a cabo incorpora los elementos presentados en la anterior sección. Para demostrar la viabilidad de la propuesta, junto a las aplicaciones de red, la arquitectura desarrollada consta de un único controlador que puede comunicarse con varios AP que constituyen la red Wi-Fi, configurada con un único SSID al que se conectan las STA. En el plano de control se establece la comunicación entre el controlador y los AP mediante una red cableada (Ethernet conmutada). En el plano de datos se establecen las comunicaciones propias de los servicios presentes en las STA, y está formada por un segmento cableado que conecta los AP con la red de datos (Ethernet conmutada, *router* y salida a Internet) y los segmentos inalámbricos (diferentes canales Wi-Fi).

El proceso *Flow Handler* utiliza, como ya ha sido indicado, southbound protocols, entre ellos OpenFlow, para la gestión de elementos de red como *virtual switches* y LVAP y, por tanto, la identificación y (re)ubicación de STA. El proceso *Monitoring Handler*, además de la recogida continua de información vía *Radiotap*, añade a cada AP un interfaz Wi-Fi adicional que trabaja en un canal independientemente al canal de datos. Así, el proceso no interfiere en la calidad de las comunicaciones Wi-Fi, que es la más sensible. Asimismo, hemos de recordar que en la parte cableada existe una Ethernet conmutada que no tiene por qué dar problemas para la calidad de las comunicaciones.

El proceso de *handoff Handler* incluye un cambio de canal, especificado ya en la norma IEEE 802.11n, llamado *Channel Switch Announcement* (CSA). Dicho procedimiento está basado en el envío de *beacon* con el

elemento CSA, y está pensado para que un AP anuncie a todas las STA conectadas que se va a cambiar de canal. Al final del proceso, tanto el AP como todas las STA cambian al canal destino anunciado en los *beacon* CSA. Este mecanismo no fuerza una desconexión IP. Este procedimiento lo vamos a utilizar para cada LVAP, que se ocupa de una única STA, por lo que los *beacon* deberán ser *unicast*. Además, en la implementación propuesta, el AP que comenzó el proceso no cambia de canal, sólo la STA a la que se le envía, consiguiendo así el *handoff* particularizado.

El tiempo entre *beacon* es un parámetro crítico en el CSA, dado que de éste depende el tiempo de interrupción de la comunicación IP. Si el tiempo es pequeño, disminuye el tiempo de interrupción de las comunicaciones IP y también sus efectos negativos sobre la calidad. Sin embargo, esto implica una mayor ocupación temporal del canal, pudiendo provocar congestión en el caso de que haya muchas STA. La solución propuesta es introducir un tiempo entre *beacon* variable, para que mientras no haya necesidad de CSA, se mantenga un valor de cientos de milisegundos. Sin embargo, llegado el momento del cambio de canal, disminuye a valores de decenas de milisegundos, enviando una ráfaga de una duración corta, pero lo suficiente como para que la STA haya realizado la operación con éxito.

Todo este procedimiento se ha puesto en marcha junto con la aplicación de red correspondiente para evaluar un *seamless handover*, tal como se puede observar en la Figura 2 y consultar en [8]. Los aspectos fundamentales para su correcto funcionamiento en la arquitectura desarrollada son:

- Definir un mapa de canales utilizados por los diferentes AP, de tal forma que cada AP sepa cuáles son los canales utilizados por los AP cercanos y poder así monitorizar las STA cercanas y con posibilidad de ser asociadas a nuestro AP.
- Disponer en cada AP de un interfaz Wi-Fi adicional en el que hacer las medidas propias en los diferentes canales sin interferir en el suyo propio.
- Definir adecuadamente las métricas y los algoritmos que nos permitirán, en base a la información de monitorización recibida, realizar las reasignaciones correspondientes que permitan el *seamless handover* que asegure los niveles de calidad deseados.
- Utilizar un intervalo temporal adecuado con el que se transmiten los *beacon* para conseguir un *seamless handover* óptimo. Cuanta mayor sea la frecuencia de la ráfaga de *beacon*, mejores resultados obtendremos en cuanto a rapidez. Pero si es demasiado elevada, es posible que inundemos la red con dicha información de control, lo que haría el sistema poco escalable. Por este motivo será importante analizar los efectos que tiene dicho parámetro en la calidad obtenida.

#### V. ESCENARIO DE PRUEBAS

El escenario de pruebas (Figura 2) incluye dos AP (TP-Link AC1750 con OpenWrt 15.05) configurados en los canales 4 y 9 de Wi-Fi. También consta de una STA a la que forzaremos a desasociarse y reasociarse a

los AP. Por último disponemos de un controlador, un generador y un receptor de tráfico y un *sniffer*.

Este escenario, así configurado, evita los problemas de las capturas en el medio radio, puesto que el generador de tráfico no coincide con la STA (que sería lo esperable) sino que lo conectamos vía Ethernet a éste. De este modo el *sniffer* estará conectado al generador de tráfico por un lado y al receptor de tráfico por otro, lo que nos permite conseguir medidas de pérdidas y retardos mucho más precisas. Esto es válido porque se acepta que no hay pérdidas en la red Ethernet en comparación con la red Wi-Fi, y la capacidad de proceso del STA es tal que no añade retardo, al tratarse de un PC de propósito general. El retardo y las pérdidas están, por lo tanto, generados sólo por los dispositivos Wi-Fi y la red inalámbrica.

Además, a la STA podemos conectarle diferentes dispositivos Wi-Fi y así estudiar las diferencias de comportamiento sin necesidad de cambiar el escenario. Los dispositivos Wi-Fi escogidos para las pruebas son: Linksys WUSB54GC, WiPi WLAN USB b/g/n y TP-LINK TL-WN722N).

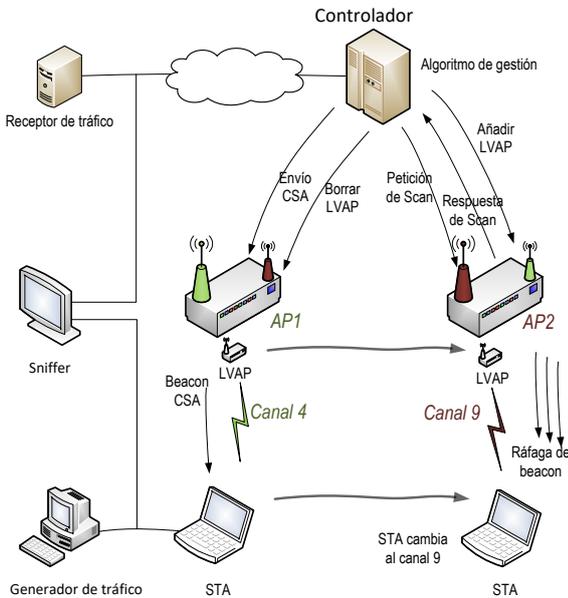


Fig. 2. Escenario de pruebas.

## VI. EVALUACIÓN

El objetivo del trabajo no es presentar unos resultados concluyentes sino plantear la necesidad de nuevas pruebas que permitan analizar los efectos del *handoff* en la QoE (*Quality of Experience*) de servicios multimedia en tiempo real. Como ejemplo se presentan unas pruebas extraídas de [8] utilizando *Quake 3* (un juego *First Person Shooter sobre UDP*), con restricciones de latencia, pero no de pérdidas. Para las pruebas se ha utilizado el generador de tráfico D-ITG [9] que dispone de los modelos de tráfico del juego. Se han realizado varias pruebas con diferentes valores de tiempo entre *beacon*: 5, 10, 20, 30, 40 y 50 ms. El controlador ha sido configurado para forzar el 20 *handoff* del STA cada 30 segundos.

Para obtener valores de QoE, se ha utilizado el G-Model [10] que nos proporciona un MOS. En la Tabla

I, se presentan los resultados para diferentes dispositivos Wi-Fi. Su comportamiento puede ser muy diferente a pesar de estar usando el mismo sistema de *handoff*.

Tabla I

Tiempo entre beacon	G-Model		
	Linksys	WiPi	TP-Link
5	0.27	4.19	4.06
10	1.10	4.23	4.16
20	1.15	4.17	4.25
30	1.21	4.28	4.25
40	1.37	4.26	4.26
50	2.72	4.28	4.26

## VII. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado un escenario de pruebas para evaluar la calidad de las comunicaciones multimedia en nuestra propuesta de redes WLAN coordinadas. Son tres las variables que podemos modificar: la aplicación multimedia, los dispositivos Wi-Fi y la arquitectura de WLAN coordinadas. Aunque no son resultados definitivos, cabe destacar que no existe una solución única y que los parámetros a escoger para nuestro sistema pueden ser acertados para ciertas configuraciones del entorno pero no para otras.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por la Comisión Europea a través del Proyecto Wi5 (H2020 G.A. no 644262), por la DGA y el fondo social europeo a través de CeNITEQ, y por el Gobierno de España a través del proyecto TISFIBE (TIN2015-64770-R).

## REFERENCIAS

- [1] R. Riggio, T. Rasheed, and M. K. Marina, "Poster: Programming software-defined wireless networks," in Proc. MobiCom, 2014, pp. 413–416.
- [2] R. Riggio, T. M. Rasheed, and R. Narayanan, "Virtual network functions orchestration in enterprise WLANs," in Proc. IM, May 2015, pp. 1220–1225.
- [3] Y. Grunenberger, F. Rousseau, "Virtual Access Points for Transparent Mobility in Wireless LANs": WCNC, 2010, p 1-6
- [4] M. E. Berezin, F. Rousseau, A. Duda, "Multichannel Virtual Access Points for Seamless Handoffs" in IEEE 802.11 Wireless Networks., in: VTC Spring, IEEE, p. 15.
- [5] J. Schulz-Zander, L. Suresh, N. Sarrar, A. Feldmann, T. Hhn, R. Merz, "Programmatic Orchestration of WiFi Networks", in: 2014 USENIX Annual425 Technical Conference (USENIX ATC 14), USENIX Association, Philadelphia, PA, p. 347358
- [6] "Vision: Augmenting WiFi Offloading with An Open-source Collaborative Platform", in: Proceedings of the 6th International Workshop on Mobile Cloud Computing and Services, MCS '15, ACM, New York, NY, USA, 430 2015, p. 4448.
- [7] M. E. Berezin, F. Rousseau, A. Duda, "Multichannel Virtual Access Points for Seamless Handoffs in IEEE 802.11 Wireless Networks"., in: VTC Spring, IEEE, 2011, p. 15.
- [8] L. Sequeira, J. L. de la Cruz, J. Ruiz-Mas, J. Saldana, J. Fernandez-Navajas, J. L. Almodovar, "Building a SDN Enterprise WLAN Based On Virtual APs," IEEE Communications Letters, Vol. 21, No. 2, pp 374-377, Feb. 2017.
- [9] A. Botta, A. Dainotti, A. Pescap, "A tool for the generation of realistic network workload for emerging networking scenarios", Comp. Network. vol. 56, no. 15, pp. 3531-3547, 2012.
- [10] R. M. Pereira, L. M. R. Tarouco, "Adaptive Multiplexing Based on E-model for Reducing Network Overhead in Voice over IP Security Ensuring Conversation Quality", in: 2009 Fourth International Conference on Digital Telecommunications, IEEE, 2009, p. 5358