

Uso de canales solapados en una red de área de campus inalámbrica con IEEE 802.11

Ester Mengual, Eduard Garcia-Villegas, Rafael Vidal.

Departament d'Enginyeria Telemàtica

Universitat Politècnica de Catalunya·BarcelonaTech

Esteve Terradas, 7 - 08860 Castelldefels

ester.mengual@gmail.com, eduardg@entel.upc.edu, rvidal@entel.upc.edu.

Resumen- Las redes de área local inalámbricas (WLAN) basadas en la familia de estándares IEEE 802.11 utilizan mayoritariamente la banda industrial científica y médica (ISM) de 2,4GHz en la que compiten con un número cada vez mayor de dispositivos. En aquellos escenarios con una mayor densidad de puntos de acceso, esta situación puede derivar en un rendimiento de las celdas WLAN por debajo sus expectativas en condiciones ideales. En este artículo se estudia un escenario real de este tipo: un campus universitario con cerca 200 puntos de acceso y bajo condiciones de tráfico real. En primer lugar, se seleccionan y determinan una serie de parámetros radio con el fin de caracterizar el escenario en términos de carga e interferencias. Este objetivo se consigue a partir de la interacción con las herramientas de gestión de la propia red. A continuación, se implementa una solución de asignación de canales dinámica que interacciona con las mencionadas herramientas de gestión. La gestión de canales implementada se basa en un algoritmo resultado de investigaciones anteriores que, como aspecto novedoso, tiene en cuenta los canales solapados parcialmente. Para terminar, se presentan una serie de pruebas obtenidas del escenario real que permiten demostrar cómo esta aproximación mejora el rendimiento de la tradicional asignación con tres canales ortogonales (i.e. 1, 6 y 11).

Palabras Clave- asignación de canales, estándares IEEE 802.11, gestión de espectro radio, Wireless LAN

I. INTRODUCCIÓN

Las redes sin hilos de área local (WLANs) IEEE802.11 [1] utilizan las bandas sin licencia de uso médico, científico e industrial (ISM) de 2,4 GHz y 5GHz para los dispositivos que siguen el estándar IEEE 802.11bgn e IEEE 802.11an, respectivamente. En la banda de 2,4GHz se definen, dependiendo de la regulación de la zona, entre 11 y 13 canales WLAN 802.11. Las frecuencias centrales de estos canales están separadas por 5MHz pese a tener un ancho de banda cercano a los 20MHz (22MHz en el caso del 802.11b). En consecuencia, sólo tres de estos canales no se solapan, de manera que el número de comunicaciones cercanas que pueden tener lugar simultáneamente sin sufrir interferencias significativas está limitado a tres. Esta situación se traduce en una selección de canales típica por parte de los administradores de red: los canales ortogonales, llamados así por no estar solapados, 1, 6 y 11 (ver Fig. 1).

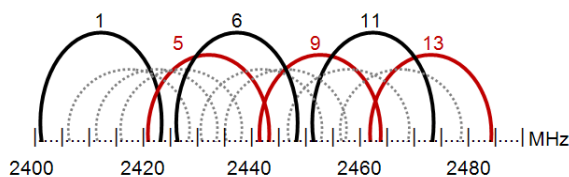


Fig. 1. División de la banda ISM de 2,4GHz en 13 canales.

En caso de poder utilizar 13 canales (e.g. dominio ETSI), los administradores pueden optar también por los canales 1, 5, 9 y 13 que, si bien están parcialmente solapados, sufren de una interferencia que puede considerarse tolerable frente al beneficio de ganar un canal adicional.

La disponibilidad de 3 ó 4 canales en entornos densos es claramente insuficiente. Tómese como ejemplo el despliegue de puntos de acceso Wi-Fi (APs) existente en el escenario objeto de estudio en este artículo, un campus universitario con más de 200 APs; tal y como se describe en la sección II, se trata de una red gestionada con una solución de la empresa Cisco Systems en la que se asignan los canales ortogonales 1, 6 y 11 para todos los APs gestionados y en la que cada AP tiene, de promedio, 14 vecinos aunque se necesitarían un mínimo de 16 canales ortogonales para evitar las interferencias entre ellos.

Este escenario, típico por otro lado, da lugar a la aparición de interferencias co-canal que pueden comportar el retardo en las transmisiones para evitar colisiones, de acuerdo al mecanismo de acceso al medio utilizado (CSMA/CA) en 802.11 [1]. Una posible solución a este problema sería el uso de la banda ISM de 5GHz. Esta banda dispone de una porción de espectro mayor que la de 2,4GHz, lo que se traduce en un mayor número de canales ortogonales y, por tanto, en la posibilidad de un mayor número de transmisiones concurrentes sin sufrir los mencionados problemas de interferencia y contención. Como contrapartida, al tratarse de frecuencias más elevadas, sufre de mayores pérdidas de propagación, lo que deriva en menores áreas de cobertura. Por si fuera poco, en Europa los dispositivos 802.11an deben evitar interferir con radares meteorológicos y con radioenlaces satelitales, “usuarios” preferentes de esta banda.

Estas circunstancias hacen que la banda de 2,4GHz sea todavía la más utilizada para desplegar WLANs y que las estrategias de gestión/asignación de los canales sean consideradas un aspecto clave en su despliegue y objeto de estudio frecuente [2], destacando inicialmente aquellos trabajos que utilizan algoritmos y heurísticas basados en la mencionada asignación de canales ortogonales y que en escenarios densos inevitablemente van a suponer una reducción de las prestaciones de las celdas 802.11.

Para cambiar esta situación es necesario cambiar la premisa inicial, es decir, utilizar toda la banda disponible, incluyendo los canales parcialmente solapados. Esta nueva premisa deriva en la aparición de interferencias por canal adyacente (ACI). Estas interferencias, que dependen de la intensidad de la señal y de la distancia entre canales,

degradan la relación señal a ruido e interferencias (SNIR) aumentando el número de errores en recepción. Este tipo de interferencia puede ser menos o más dañina que la interferencia co-canal dependiendo de diferentes factores que deben tenerse en cuenta si se quiere realizar una gestión eficiente de los recursos radio.

En [3] y [4] se estudia la ACI en WLANs IEEE 802.11abg. Más concretamente, en [3] se propone un modelo para cuantificar la degradación de las comunicaciones 802.11 bajo el impacto de la interferencia, teniendo en cuenta la utilización de la fuente interferente y su energía en la porción solapada del canal. El objetivo del modelo era evaluar los efectos de las interferencias sobre la capacidad de los enlaces 802.11.

Tanto [3] como [4] concluyen que los canales parcialmente solapados son un recurso útil cuando el número de canales no solapados disponible es pequeño y la densidad de celdas WLAN 802.11 es alta. A partir de estos artículos, otros trabajos han considerado también el uso de canales parcialmente solapados (como [5] y [6]); sin embargo ninguno de ellos presenta resultados en un escenario real. Por otro lado, se debe tener en cuenta que el uso de canales parcialmente solapados puede empeorar el rendimiento de la red si no se realiza siguiendo una gestión inteligente de los canales, tal y como se detalla en [7].

En [8], los APs intercambian una colección de estadísticas bien con un controlador centralizado, o bien de manera distribuida. Estas estadísticas son la base para construir un “grafo de interferencias ponderado” que es coloreado utilizando un conjunto de canales disponibles (incluyendo aquellos parcialmente solapados).

La contribución del presente artículo es doble. En primer lugar se realiza una implementación de la solución propuesta en [8] siguiendo una aproximación centralizada. En segundo lugar, se evalúa esta aproximación mediante medidas en un escenario real: una WLAN de campus con cerca de 200 APs compitiendo en la banda de 2,4GHz. Una evaluación que demuestra que, si las interferencias por canal adyacente y co-canal se consideran de manera adecuada, el empleo de una estrategia inteligente de gestión de los canales minimiza las colisiones así como los errores de transmisión, mejorando la capacidad de la red y la experiencia del usuario. Enfatizar que se trata de la primera implementación de la que tienen noticia los autores de un algoritmo de este tipo y de su evaluación en una red en explotación de estas características.

Como paso previo para conseguir estos objetivos se realiza un estudio pormenorizado de la solución de gestión existente en el escenario analizado. Este estudio permite tanto identificar los parámetros que permiten caracterizar el escenario, como obtener sus valores y presentar una implementación de la solución propuesta compatible con el sistema de gestión existente.

El resto del artículo se estructura de la siguiente manera. En la sección II se describe y caracteriza el entorno de pruebas y la solución de gestión que utiliza; en la sección III se describe la implementación del mecanismo alternativo de asignación de canales; en la sección IV se describen las pruebas realizadas y se comentan los resultados, y para terminar, las conclusiones (sección V) cierran el artículo.

II. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO

El estudio que este artículo presenta se ha realizado en el Campus del Baix Llobregat (CBL) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC-BarcelonaTech). Este campus aloja escuelas de ingeniería, varios centros de investigación, edificios de servicios (biblioteca, restaurante, etc.) así como alojamientos para estudiantes. A pesar de poder considerarse un campus pequeño (~30 hectáreas), es un escenario perfecto para llevar a cabo este estudio ya que consta de una red Wi-Fi de más de cien APs que compiten con una gran cantidad de APs ajenos (*rogue*¹), lo que la convierte en una red lo suficientemente densa y compleja como para realizar experimentos interesantes en un entorno real.

En la Fig. 2 se muestra el grafo de interferencias que describe la red. Cada punto del grafo representa uno de los APs gestionados por nuestro sistema (nótese que los APs *rogue* se han omitido para mejorar la visibilidad del grafo); y cada enlace entre dos nodos indica que un nodo está dentro del área de cobertura del otro y viceversa. Como se puede observar, el mapa creado a partir de las interferencias entre los APs de la red describe un escenario caótico que sin duda requiere una gestión de recursos automática.

De acuerdo con la información recopilada en el grafo que muestra la Fig. 2 (véase la sección III para más detalles), cada AP tiene una media de 14 APs vecinos, de los cuales 6 son APs *rogue*. El mayor número de vecinos visto por un AP es de 26. El diagrama de la Fig. 3 sirve para ampliar estos datos estadísticos al mostrar la probabilidad con la que un AP recibe interferencias de un determinado número de vecinos. Se observa que ambos tipos de fuentes interferentes (APs vecinos y APs *rogue*) siguen una distribución diferente, aunque en ambos casos el grado de dispersión es alto; la probabilidad de sufrir interferencias de dos o menos APs *rogue* es alta, mientras que el número de APs vecinos es más probable que sea superior a seis (85%). Esta diferencia se puede explicar por el hecho que los APs *rogue* se concentran

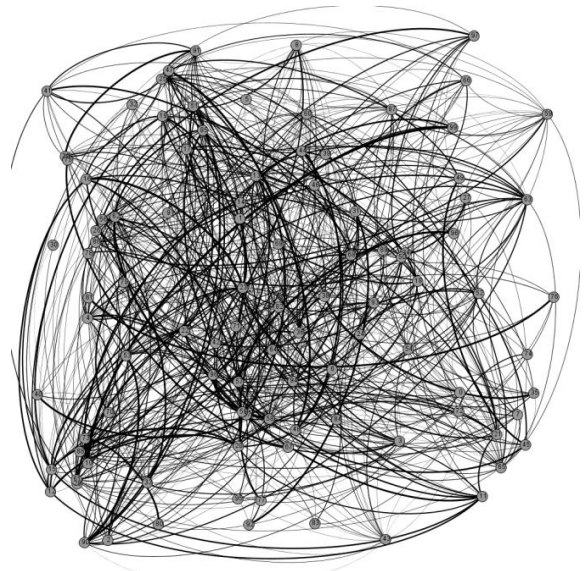


Fig. 2. Grafo de interferencias de la red Wi-Fi del campus.

¹ AP *rogue* hace referencia a cualquier AP instalado sin el consentimiento del propietario de la red; y por tanto, no queda bajo la gestión del administrador de dicha red.

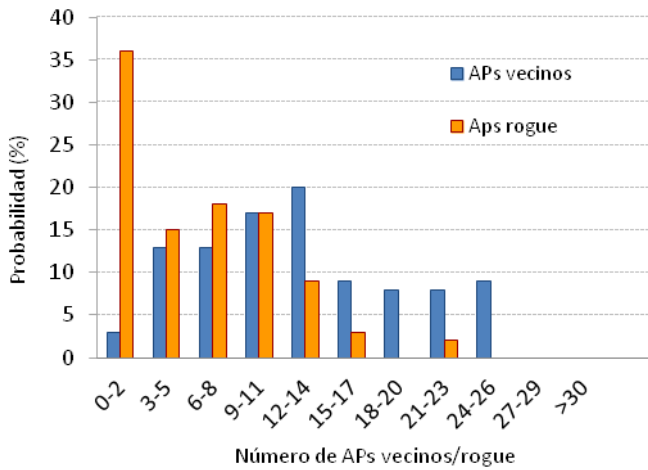


Fig. 3. Distribución de APs vecinos/rogue interferentes

en determinadas zonas, mientras que los APs de la red propia se distribuyen más homogéneamente para proporcionar cobertura a todo el campus.

El número y el tamaño de los cliques¹ también ayudan en la descripción de un escenario representado por un grafo. En este caso, el número clique del grafo de interferencias es 16; en otras palabras, serían necesarios un mínimo de 16 canales ortogonales para evitar por completo las interferencias en este escenario. Por otra parte, el tamaño de clique más frecuente es de 5 ó 6 APs.

A. Estudio del tráfico en la red

Además de analizar la red del campus en base a los dispositivos instalados, es necesario también estudiar su utilización en términos de tráfico. El objetivo principal del estudio es detectar los periodos de máxima actividad, puesto que son los momentos en que más necesaria es la presencia de una gestión inteligente de los recursos radio. Para hacerlo, se ha dedicado una etapa a su análisis, y esto ha permitido definir un perfil de tráfico que revelase las características más destacadas, incluyendo los momentos de máxima actividad. La Fig. 4 y la Fig. 5 pertenecen a la interfaz de administración de la propia controladora LAN inalámbrica (WLC). La Fig. 4 muestra la evolución del tráfico cursado en el enlace de subida (azul) y en el enlace de bajada (naranja) durante una semana. Se observa que el comportamiento es similar día tras día. Más concretamente, se pueden apreciar dos picos de tráfico diarios ligeramente variables: uno por la mañana y otro por la tarde. Además, en la Fig. 4 se puede observar, en que la red soporta una carga significativa solo en los días de actividad en el campus (días laborables). La Fig. 5 muestra la evolución del uso de la red durante las horas de un día laborable. En este gráfico se aprecia que los picos de tráfico se dan alrededor de las 13:00 y las 19:00, aproximadamente. En ambas figuras también es visible el hecho de que el tráfico

de bajada (*downlink*) es notablemente superior al de subida (*uplink*). La relación es aproximadamente de uno a tres. Partiendo de la información recopilada, se ha definido un patrón que se repite a diario, que revela los momentos con mayor número de usuarios simultáneos y tráfico ofrecido. Por eso, será alrededor de cada pico cuando se ponga a prueba la gestión eficiente de recursos radio, ya que bajo estas circunstancias los beneficios serán más apreciables.

B. Arquitectura WLAN

La WLAN del Campus está basada en dispositivos Cisco Systems y sigue una arquitectura conocida como Cisco Unified Wireless Network Architecture [9]. Esta arquitectura centralizada se basa en la conexión de APs ligeros (LAPs) a un dispositivo central (controladora LAN inalámbrica o WLC) que establecen comunicación a través de protocolos como LWAPP o CAPWAP [10].

Los modelos de los APs y la controladora instalados en el escenario bajo estudio son 1142N y 1131G; y WLC 4404, respectivamente. Los LAPs están conectados físicamente a la controladora a través de una VLAN de tipo Fast Ethernet conmutada. Al estar gestionados por un dispositivo central, utilizan direcciones IP privadas, de manera que no son accesibles desde fuera de la VLAN, a diferencia de la WLC, que también cuenta con una IP de dominio público.

Arquitectura centralizada Split-MAC

El protocolo LWAPP (IETF RFC 5412) nació con el fin de facilitar la gestión centralizada de LAPs y su configuración automática, pero ha evolucionado con el tiempo hacia CAPWAP (IETF RFC 5415). Además de facilitar la comunicación entre WLCs y LAPs, a través de este protocolo también se gestiona la configuración, firmware, transacciones de control y transacciones de datos de todos los LAPs gestionados de forma centralizada. Para ello, se utiliza un

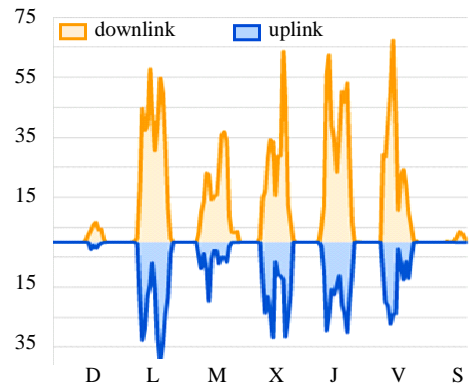


Fig. 4. Tráfico semanal en el campus (en Mbps)

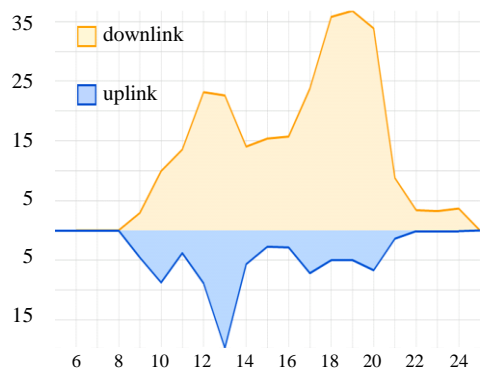


Fig. 5. Tráfico diario en el campus (en Mbps)

¹ En teoría de grafos, se llama clique al subconjunto de un grafo en el que todos los vértices están conectados entre sí. El número clique de un grafo es el tamaño del mayor clique dentro de ese grafo.

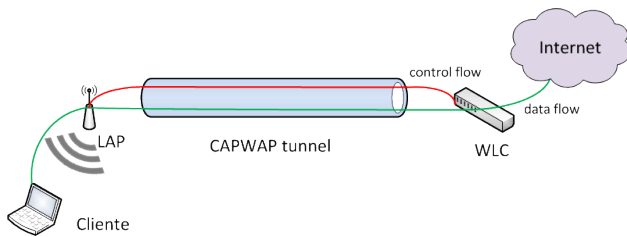


Fig. 6. Arquitectura centralizada Split MAC

canal de “control” para la gestión de los LAPs y su configuración; y un canal de “datos” para la transmisión de tráfico de usuario entre las dos entidades.

CAPWAP también define un protocolo de descubrimiento que permite a los LAPs asociarse automáticamente a una WLC. En este proceso, el LAP envía una petición y espera a recibir una respuesta de la WLC. Desde ese momento, la WLC se hace responsable de la gestión del LAP en cuestión, e incluso puede redirigirlo a otra WLC.

Una de las claves principales de este tipo de arquitectura es el concepto *Split MAC* (ver Fig. 6). Esta funcionalidad se basa en que la WLC administra parte del funcionamiento del protocolo 802.11 (funciones de distribución e integración), mientras que otras partes son administradas por el propio LAP (funcionalidades MAC). En concreto, es responsabilidad de la WLC: la gestión de seguridad, de la configuración y funciones sin requisitos temporales estrictos (asociación, desasociación, gestión de claves de encriptación, etc.); y es responsabilidad de cada LAP: la encapsulación y desencapsulación de datos vía CAPWAP, la fragmentación y reensamblado de tramas y las funciones con requisitos temporales estrictos (generación de *beacon*, mensajes de control, etc.) [11]. Entre las operaciones llevadas a cabo por la WLC se incluye la selección de canales dinámica (DCA).

Todas estas funciones requieren constantemente un intercambio de mensajes entre la WLC y los LAPs. Tanto la información de control como de datos se envían a través de mensajes UDP mediante sesiones seguras DTLS.

Gestión de canales

La gestión de canales realizada por la WLC parte de la obtención de estadísticas desde los LAPs gestionados. Básicamente, la WLC tiene en cuenta el número de LAPs de la propia red que interfieren con cada LAP gestionado y la intensidad de la señal recibida de cada uno. El DCA también tiene en cuenta información sobre la carga de cada LAP para minimizar los cambios de canal de los LAPs más utilizados. Es decir, la WLC cambiará con menos frecuencia el canal de un LAP muy cargado que el de un LAP poco utilizado. En su configuración por defecto, la WLC solo asigna los canales 1, 6 y 11 (2412, 2437 y 2462MHz, respectivamente).

La WLC calcula una nueva asignación cada 10 minutos, pero solo será aplicada si se prevé mejorar 15dB la relación señal/ruido (SNR) del peor AP.

III. SOLUCIÓN IMPLEMENTADA

El esquema que se muestra en la Fig. 7 describe la arquitectura general del sistema. El mecanismo que se propone, incluye un módulo de comunicaciones para interactuar con la WLC y un módulo que incluye el algoritmo

encargado de la asignación de canales, como se muestra a continuación:

A. Módulo de comunicaciones

El esquema de gestión centralizada de canales que este artículo presenta consiste en un sistema basado en Linux que establece periódicamente comunicación SNMP con la controladora. La comunicación SNMP tiene como finalidad recoger estadísticas y proporcionar la asignación de canales más apropiada según el algoritmo propuesto en [8]. El proceso se divide en varias etapas.

En primer lugar, se ha dedicado una etapa al estudio de la utilización de la red con el propósito de localizar los momentos de máxima actividad y decidir cuándo poner a prueba la gestión eficiente de recursos radio (véase la sección II.A.). Las estadísticas SNMP se han recogido cuatro veces al día en momentos que permitan evaluar la información relativa a cada pico de tráfico. De esta manera, se logrará optimizar el funcionamiento de la red en las horas punta a través de las nuevas asignaciones de canales sugeridas por el algoritmo.

La controladora central permite acceso SNMP a un conjunto de parámetros útiles para el propósito que se sigue. Esos parámetros son objetos de la MIB Airespace-Wireless-MIB¹, un módulo MIB destinado a controladoras WLAN de Cisco que proporciona información sobre el estado y la configuración de los LAPs administrados por esa WLC. Las estadísticas que se recogen incluyen los siguientes datos para cada LAP:

- Contadores MAC: las estadísticas de la capa 2 como pueden ser el número de tramas enviadas / recibidas, el número de retransmisiones, errores CRC, etc. (véase la sección IV para más detalles).
- Vecinos: se construye una lista de APs potencialmente interferentes y la intensidad de señal que se recibe de ellos (RSSI). Incluye la información correspondiente a los objetos *bsnAPIfRxNeighborsTable*, *bsnRogueAPTable* y *bsnRogueAPAirespaceAPTable*.
- Carga: se guarda información sobre el porcentaje de tiempo que un AP está ocupado debido a la recepción o transmisión de paquetes. Esta información es accesible en el subconjunto *bsnAPIfLoadParametersTable*.

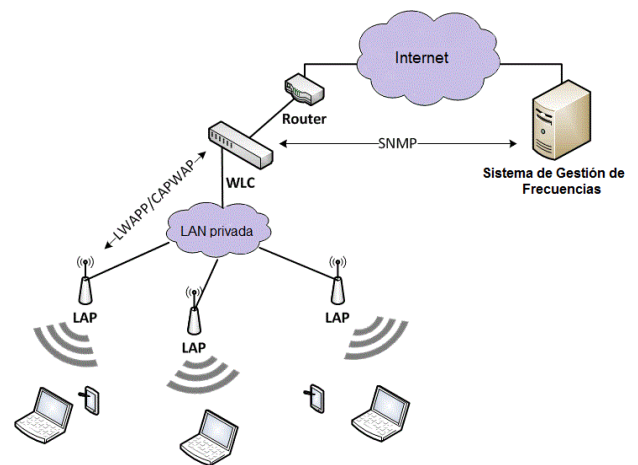


Fig. 7. Arquitectura del sistema propuesto

¹ <http://www.oidview.com/mibs/14179/AIRESpace-WIRELESS-MIB.html>

B. Algoritmo

La nueva asignación de canales se lleva a cabo diariamente por la noche, coincidiendo con el momento del día de menor actividad en la red. Esta asignación es decidida en base a un algoritmo existente [8].

En primer lugar, se extrae una lista de vecinos a través de la controladora. Este listado se usa para construir un grafo de interferencias como el de la Fig. 2 que, a su vez, incluye información sobre carga y niveles de RSSI con los que se proporcionan diferentes pesos a los enlaces del grafo. Es importante señalar que, a pesar de que los APs *rogue* están fuera del control del sistema de gestión centralizado y no se les puede asignar un canal diferente, estos APs están presentes en el grafo de interferencias ya que su existencia sí es detectada y se conocen datos como el canal de trabajo y la intensidad de señal con la que un LAP los recibe.

Una vez construido el grafo de interferencias ponderado, la información contenida en él se usa como entrada para el algoritmo, que resuelve el problema de asignación frecuencial asignando canales a los LAPs gestionados, de manera que se maximiza una determinada métrica, dando prioridad a los LAPs con más carga y con más vecinos (i.e. se empieza asignando un canal libre al LAP más utilizado). La métrica que el algoritmo tiene como objetivo modela la capacidad potencial de cada uno de los LAPs que se gestionan en la red teniendo en cuenta tanto la interferencia co-canal como la de canal adyacente causada por los APs vecinos. El modelo tiene en cuenta que el nivel de interferencia sufrida depende del nivel de utilización (o carga) de los APs vecinos y no solo de la intensidad de señal recibida. Así pues, el algoritmo sólo sugerirá el uso de canales parcialmente solapados cuando el coste asociado a la interferencia co-canal sea mayor a la de canal adyacente, según los modelos mencionados (cf. [8]).

La nueva asignación de canales se transmite desde el módulo de comunicaciones a la WLC a través de comandos SNMP. A su vez, la WLC envía la nueva configuración a cada uno de los LAPs a través del protocolo CAPWAP.

IV. EVALUACIÓN

Nuestro sistema estuvo en funcionamiento durante un período de tres semanas en el escenario descrito en II. Durante ese tiempo se analizaron las estadísticas pertinentes para obtener una medida cuantificable de su rendimiento. Como referencia se había medido previamente, también durante tres semanas, el rendimiento de la gestión automática de canales que por defecto proporciona el WLC de Cisco (Cisco DCA). Dado que los beneficios de una buena estrategia de gestión de los recursos radio en una WLAN son visibles sobretudo en condiciones de carga elevada, sólo medimos el rendimiento durante las horas punta de los días laborables (véase la sección II.A.) de los veinte “peores” APs.

En la evaluación de las mejoras proporcionadas por nuestro mecanismo asumimos que, tanto la distribución de usuarios a lo largo y ancho del escenario, como sus requerimientos de recursos radio (i.e. su perfil de tráfico) se mantuvieron estadísticamente similares antes y después de aplicar el mecanismo que proponemos. Como consecuencia, asumimos también que las diferencias en los parámetros de rendimiento observados serán debidas a los cambios en el mecanismo de gestión de frecuencia y no a otros cambios en el escenario, ya que ningún otro aspecto clave de la configuración de la red fue modificado.

A. Distribución de canales

Dado que uno de los puntos claves del sistema propuesto se basa en proporcionar una asignación de canales que incluya canales parcialmente solapados, es interesante examinar cómo se han distribuido los canales de frecuencia durante el período de pruebas, en comparación con el DCA de Cisco.

La Fig. 8 muestra, de color azul claro, la distribución de los canales cuando las tareas de gestión de frecuencias están a cargo de la WLC (recordar que la asignación está restringida a los tradicionales 1, 6 y 11). Sorprendentemente, casi la mitad de los puntos de acceso habían sido configurados en el canal 1. Esto probablemente se debe al hecho de que cuando los LAPs se inician por primera vez, utilizan el primer canal no solapado de la/s banda/s que soportan (canal 1 para 11bg y canal 36 para 11a).

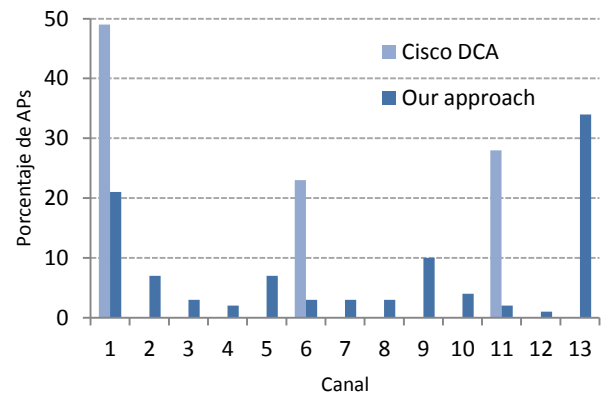


Fig. 8. Número de LAPs en cada canal

Además, la Fig. 8 también muestra cómo la distribución de canales ha cambiado después de ejecutar el sistema durante un tiempo prolongado. Ahora podemos observar que los LAPs utilizan toda la banda disponible (canales 1 a 13). Sin embargo, es interesante observar que la mitad de ellos están trabajando, o bien en el canal 1, o bien en el 13; es decir, los canales situados en los extremos de la banda, donde existe menos interferencia por canal adyacente. En menor medida, también se observan picos en los canales 5 y 9. Este resultado apoya la práctica recomendada de utilizar el conjunto de canales (casi) ortogonales 1, 5, 9 y 13 en zonas donde estén permitidos [3].

Como se ha explicado, la Fig. 8 muestra la distribución inicial y final de canales en el escenario. Sin embargo, también resulta interesante observar cómo ha ido evolucionando dicha distribución durante los días en que el sistema que proponemos ha estado en funcionamiento. La Fig. 9 muestra el número de LAPs en cada canal en diferentes días.

El cambio de estrategia al permitir el uso de canales solapados en el conjunto de LAPs gestionados mediante nuestro sistema tiene también influencia sobre la selección de canales en el conjunto de APs *rogue*. Al principio, la mayoría de APs *rogue* usaban alguno de los tres canales ortogonales, hecho que provocaba que en los primeros días nuestro sistema asignara estos mismos canales (1,6 y 11) a muchos LAPs. Paulatinamente, los APs *rogue* se iban adaptando al cambio de escenario mostrando una mayor distribución sobre todos los canales permitidos y eso, a su vez, provocaba cambios en la asignación proporcionada por nuestro sistema.

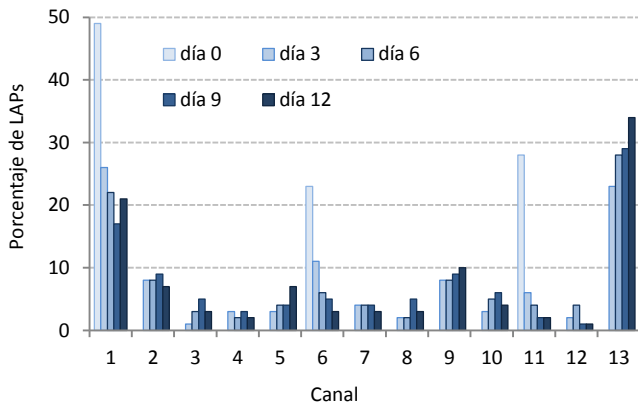


Fig. 9. Evolución de la distribución de canales

B. Medidas de rendimiento

Las mejoras en la gestión de los recursos radio se traducen en una mayor capacidad de la red, que podría ser medida en términos de *goodput* o ancho de banda disponible. Normalmente estas medidas requieren la generación de tráfico de datos suficiente para saturar los recursos disponibles. Este tipo de medidas es posible en entornos de laboratorio mediante el uso de una pequeña maqueta o demostrador y donde la mayoría de variables que pueden tener un impacto sobre la medida están controladas. Sin embargo, en un escenario real con centenares de APs y centenares de usuarios cuyo comportamiento es impredecible, estas medidas de capacidad no son viables, más cuando se nos exige no realizar acciones que puedan afectar al servicio ofrecido por la red. En su lugar monitorizamos pasivamente una serie de estadísticas relacionadas con la tasa de error de paquete (PER).

En un canal radio, un paquete puede no ser recibido correctamente por dos razones: o bien porque éste llegó al receptor sin la energía suficiente para ser decodificado (debido a la distancia emisor/receptor y otros efectos de la propagación), o bien por culpa de interferencias (otras transmisiones simultáneas en frecuencias muy cercanas). Asumiendo que el comportamiento de los usuarios no varía significativamente (su distribución por el escenario y su movilidad), las mejoras en la PER serán debidas a una disminución de la interferencia, que es el objetivo principal de nuestro sistema de gestión de frecuencias.

De entre la gran variedad de estadísticas accesibles vía SNMP, el análisis de tres contadores de la capa MAC proporcionados por la *dot11CountersTable*¹ nos permitirá evaluar las mejoras de nuestro sistema tanto en transmisión, como en recepción para cada LAP. La elección de las estadísticas usadas en la evaluación del sistema ha estado también limitada por la presencia de un *bug*² en el firmware de la WLC que provoca que ciertos contadores no se actualicen correctamente.

¹ *dot11CountersTable* (OID: 1.2.840.10036.2.2) forma parte del estándar IEEE 802.11 y está, por tanto, soportada por la mayoría de APs comerciales

² <http://www.cisco.com/en/US/docs/wireless/controller/release/notes/crn52xgmr1.html>

Mejoras en recepción

Los beneficios medidos en enlaces ascendentes (de estaciones cliente hacia AP) se han analizado a través del contador *FCSErrorCount*, cuyo valor se incrementa por cada trama recibida con errores, según la secuencia de verificación de trama (FCS). Las estaciones transmisoras cuyos paquetes *unicast* son contabilizados por *FCSErrorCount* en el LAP, deberán retransmitir la trama errónea hasta que sea recibida correctamente o hasta agotar el número máximo de retransmisiones (generalmente limitado a 5). La Fig. 10 muestra la variación de esta métrica a lo largo de los días, en comparación con el valor medio medido cuando el sistema DCA de Cisco estaba en funcionamiento. En promedio, al final del período de medición, los veinte "peores" LAPs habían reducido el número de errores FCS a la mitad con respecto a la configuración con DCA.

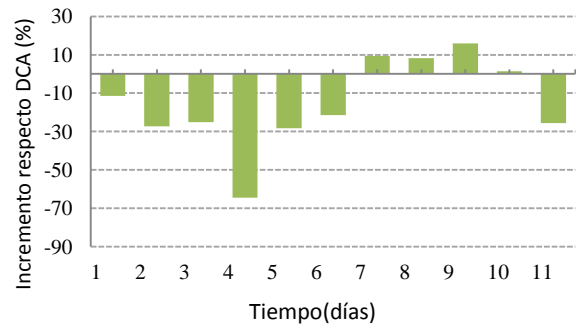


Fig. 10. Evolución diaria del contador *FCSErrorCount*

Mejoras en transmisión

A través de *FailedCount* (Fig. 11) y *MultipleRetryCount* (Fig. 12) hemos sido capaces de medir las mejoras relacionadas con la transmisión en el enlace descendente (desde el AP hacia el usuario Wi-Fi). De entre las estadísticas disponibles relacionadas con la PER, *FailedCount* se podría considerar como el parámetro más crítico, puesto que un aumento de su valor significa un fallo en la transmisión de un paquete a pesar de varios intentos (hasta un máximo de 5, como se menciona anteriormente). En este caso, los cambios aplicados en la asignación de canales hacen que este parámetro experimente una mejora media del 75% (teniendo en cuenta a los veinte peores puntos de acceso).

En cambio, la Fig. 11 muestra cómo *MultipleRetryCount* ha aumentado de manera significativa con respecto al esquema de gestión proporcionado por el DCA (26% de aumento, en promedio). Este contador se incrementa cada vez que una trama es transmitida con éxito desde el LAP tras varias retransmisiones. Aunque estos resultados pueden parecer contradictorios, en realidad son consistentes con una mejora en la PER. La probabilidad de que una trama sea transmitida con éxito tras múltiples intentos (i.e., la probabilidad de que la transmisión de un paquete incremente el contador *MultipleRetryCount*) es:

$$P_{MRC} = (1 - PER) \cdot \sum_{i=2}^4 PER^i \quad (1)$$

la cual, a diferencia de *FCSErrorCount* y *FailedCount*, no disminuye monótonamente con PER. En otras palabras, una mejora en la PER puede verse reflejada igualmente tanto por un aumento, como por una disminución del contador *MultipleRetryCount*, dependiendo de la gama de valores que toma PER. Teniendo en cuenta la mejora en los anteriores

contadores, podemos concluir que el incremento en *MultipleRetryCount* refleja una mejora de la PER.

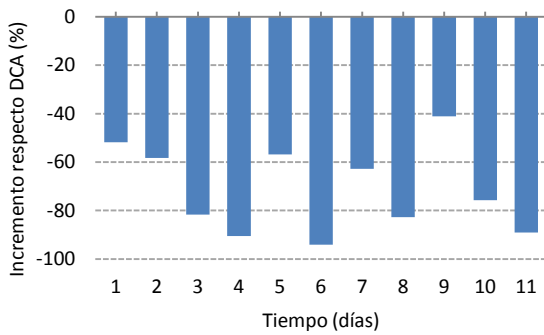


Fig. 11. Evolución diaria del contador *FailedCount*

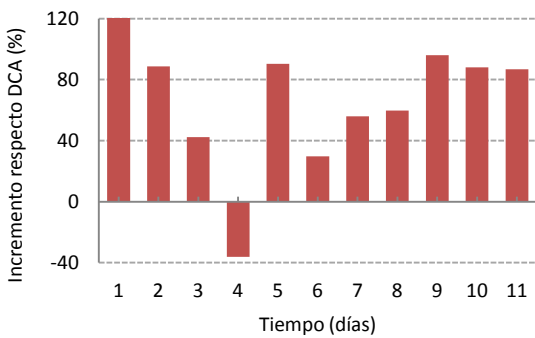


Fig. 12. Evolucion diaria del contador *MultipleRetryCount*

C. Consideraciones adicionales

Además de las mejoras evidentes en el rendimiento de la red, otros aspectos deben ser tenidos en cuenta. En primer lugar es importante señalar que el sistema propuesto supone un *overhead* por señalización poco significativo, pese a requerir una gran cantidad de datos vía SNMP. Como se relata en II, nuestro sistema gestor de frecuencias recoge estadísticas sobre los LAPs cuatro veces al día (justo antes y justo después de los dos picos de carga diarios). Cada una de las cuatro consultas supone que la WLC y nuestro gestor de frecuencias intercambian alrededor de 4,5MB de datos (en unos 45.000 paquetes SNMP) durante unos 20s. La asignación de canales se realiza una vez al día, en horario nocturno, coincidiendo con el mínimo de actividad. La cantidad de datos intercambiados durante esta tarea depende del número de LAPs cuyo canal necesita ser modificado. En el peor de los casos, en el que todos los LAPs son modificados, WLC y gestor de frecuencias intercambian alrededor de 40KB; en general, solo el 20% de los LAPs (en promedio) son modificados diariamente. Aunque, como se explica en II.A., el algoritmo DCA recalcula el plan de frecuencias cada 10 minutos, los LAPs cambian su canal, de media, cada 8 días. En nuestro sistema, los LAPs cambian de canal aproximadamente cada cinco días. Idealmente, la frecuencia con la que un AP Wi-Fi modifica su canal de trabajo depende de lo dinámico que sea su entorno, pero cambios de canal muy frecuentes pueden resultar perjudiciales ya que puede suponer la pérdida de conectividad

de las estaciones. Ante un cambio de canal, las estaciones asociadas a un AP realizarán un barrido de los canales disponibles hasta dar de nuevo con su AP o hasta encontrar otro AP de la misma red. Esta situación puede implicar la repetición de los procesos de autenticación y asociación [1]. La duración del periodo de desconexión que hemos medido varía entre 0,8 y 4,7s, siendo el peor caso cuando el proceso de autenticación se realiza mediante 802.1X (WPA2 Enterprise). Sin embargo, el uso de la extensión IEEE 802.11h podría reducir aún más el tiempo de desconexión [12], ya que incorpora mecanismos mediante los cuales el AP puede anunciar en próximo cambio de canal con suficiente antelación para que las estaciones asociadas cambien de forma sincronizada el canal de trabajo.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este artículo se ha presentado un sistema de asignación de canales que tiene por objetivo minimizar las interferencias permitiendo el uso de canales parcialmente solapados. El sistema se integra en una arquitectura centralizada de Cisco, con APs ligeros gestionados por una controladora WLAN. En esta arquitectura, nuestro sistema asume una de las tareas del WLC: la gestión de frecuencias. Dejando a un lado este aspecto, la red opera de acuerdo a su configuración por defecto.

A diferencia de la literatura existente, donde la evaluación se basa en simulaciones o en medidas en pequeños demostradores, nuestra propuesta ha sido probada durante varias semanas en un WLAN de campus bajo condiciones de tráfico reales.

La evaluación del rendimiento de la red nos permite concluir que una asignación de canales que tenga en consideración canales parcialmente solapados proporciona mejoras significativas que son más evidentes en los momentos en que la red soporta una mayor carga. El análisis de métricas específicas relacionadas con el nivel contención e interferencia ha proporcionado resultados satisfactorios, tanto en el enlace ascendente, como descendente.

Como el principal objetivo era la implementación de nuestra aproximación en una red real y operativa, hemos tenido que cumplir con diferentes restricciones de acuerdo con los administradores de la red. Cabe destacar que se pudieron recoger estadísticas sin restricciones, pero las nuevas asignaciones de canales sólo podían realizarse una vez al día, en un horario en el que la utilización de la red es mínima. Con ello se pretendía reducir el potencial impacto de un posible mal comportamiento del sistema. Esta medida de carácter protector reduce, por otro lado, los beneficios de la asignación dinámica de canales, ya que estas asignaciones no pueden realizarse de manera inmediata como respuesta a los frecuentes cambios de condiciones en la red. En estas condiciones, el plan de frecuencias adoptado para un día se decidía a partir de las características de la red medidas durante el día anterior. Además, el hecho que el número de APs afectados por la reconfiguración diaria de los canales es pequeño (<20%), y que las reconfiguraciones sean casi completamente inocuas para los usuarios, nos hacen pensar que nuestro sistema ofrecería un mejor servicio si las asignaciones de canales se realizasen más frecuentemente de manera que fuesen óptimas de acuerdo a las necesidades de la red en cada momento.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad del gobierno de España a través del proyecto TEC2012-32531, por el Ministerio de Ciencia e Innovación a través del proyecto TEC2009-11453 y FEDER.

Los autores quieren también hacer explícito su agradecimiento a UPCnet, al delegado del rector de la UPC-BarcelonaTech en el Campus del Baix Llobregat, a los servicios técnicos de este Campus y al director de la Escuela de Ingeniería de Telecomunicación y Aeroespacial de Castelldefels.

REFERENCIAS

- [1] IEEE 802.11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. (2012 revision). IEEE-SA. 5 April 2012.
- [2] S. Chiochan, E. Hossain and J. Diamond, "Channel assignment schemes for infrastructure-based 802.11 WLANs: A survey," in *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, vol.12, no.1, 2010, pp. 124,136.
- [3] E. Garcia, E. López-Aguilera, R. Vidal and J. Paradells, "Effect of adjacent-channel interference in IEEE 802.11 WLANs," in *2nd. Int. Conference of Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications, CrownCom'07*, 2007.
- [4] A. Mishra, V. Shrivastava, S. Banerjee and W. Arbaugh, "Partially overlapped channels not considered harmful," in *SIGMETRICS Perform. Eval. Rev.* 34, June 2006.
- [5] Y. Cui, W. Li and X. Cheng, "Partially Overlapping Channel Assignment Based on "Node Orthogonality" for 802.11 Wireless Networks," in *IEEE INFOCOM 2011*, 2011.
- [6] K. Zhou, L. Xie, Y. Chang and X. Tang, "Channel Assignment for WLAN by Considering Overlapping Channels in SINR Interference Model," in *IEEE International Conference on Computing Networking and Communications*, 2012.
- [7] V. Angelakis, S. Papadakis, V. A. Siris and A. Traganitis, "Adjacent Channel Interference in 802.11a is Harmful: Testbed Validation of a Simple Quantification Model," *IEEE Communications Magazine*, pp. 160-166, March 2011.
- [8] E. Garcia Villegas, R. Vidal Ferré y J. Paradells, «Frequency assignments in IEEE 802.11 WLANs with efficient spectrum sharing,» *Wireless Communications and Mobile Computing*, pp. 1125-1140, 2009.
- [9] Cisco Systems, "Cisco Unified Wireless Network Architecture-Base Security Features," in *Wireless and Network Security Integration Design Guide*, p. Chapter 4.
- [10] P. Calhoun, M. Montemurro and D. Stanley, "Control and Provisioning of Wireless Access Points (CAPWAP) Protocol Specification," in *Network Working Group - RFC 5415*, March 2009.
- [11] P. Calhoun, M. Montemurro and D. Stanley, "Control and Provisioning of Wireless Access Points (CAPWAP) Protocol Binding for IEEE 802.11," in *Network Working Group - RFC 5416*, March 2009.
- [12] IEEE 802.11k-2003—Amendment 3: Spectrum and Transmit Power Management Extensions in the 5 GHz Band in Europe. IEEE-SA. October 2003.