

Evaluación de IEEE 802.11g en un entorno celular exterior

Elena López-Aguilera, Jordi Casademont, Josep Cotrina
Grupo de Comunicaciones Inalámbricas – Universitat Politècnica de Catalunya
Mod. C3 Campus Nord, c/ Jordi Girona 1-3, 08034 Barcelona
E-mail: elopez@entel.upc.es, jordi.casademont@entel.upc.es, jcotrina@entel.upc.es

Resumen

La mayoría de estudios que se encargan de analizar el comportamiento de IEEE 802.11 se encuentran limitados a entornos uncelulares. Sin embargo, la idea de diseñar una red celular basada en IEEE 802.11 resulta muy atractiva, debido a las múltiples ventajas que este estándar presenta: el bajo coste del equipamiento, el uso de espectro libre sin licencia y las elevadas tasas de transmisión. En este artículo se estudia la posibilidad de diseñar una red celular basada en IEEE 802.11, presentando su comportamiento bajo diferentes condiciones de carga del sistema y comparando los resultados con los obtenidos en un escenario uncelular. Finalmente, como métodos para reducir la influencia de la interferencia se propone, por una parte, la utilización de diferentes tamaños de cluster, y por otra, un mecanismo de control de potencia en los terminales móviles.

1. Introducción

En 1997 el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) definió su primer estándar, IEEE 802.11, para la regulación de las redes de área local inalámbricas, proporcionando tasas de transmisión entre 1 y 2 Mbps en la banda de 2.4 GHz. Más adelante apareció el IEEE 802.11b que alcanza tasas de transmisión de hasta 11 Mbps a 2.4 GHz. El estándar IEEE 802.11a fue el siguiente, ofreciendo tasas de transmisión de hasta 54 Mbps en la banda de 5 GHz. Sin embargo, el cambio de banda frecuencial supuso un grave inconveniente para la interoperabilidad con equipamiento antiguo. Así que en Junio de 2003 se aprobó el estándar IEEE 802.11g, que alcanza tasas de transmisión de 54 Mbps pero en la banda de 2.4 GHz. Finalmente en Septiembre de 2003 un nuevo grupo de trabajo ha comenzado a desarrollar el IEEE 802.11n, que deberá proporcionar tasas de hasta 108 Mbps.

En la actualidad el IEEE 802.11 ha pasado a ser el estándar de facto de las WLANs. Inicialmente se convirtió en la tecnología preferida de WLAN para uso privado (oficinas, hogares,...), y posteriormente su utilización se ha extendido a sitios públicos (salas de espera, estaciones, aeropuertos,...) dando lugar a los llamados *hotspots*.

Comparado con los sistemas de generación 2.5 y tercera generación (3G), las WLAN presentan ventajas importantes. Por una parte, este tipo de redes ofrece tasas de transmisión que se encuentran muy por encima de las que nos proporcionan otros sistemas de comunicaciones móviles. Mientras que EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) permite una tasa máxima de 384 Kbps y UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) pretende incrementar su tasa de transmisión hasta 2 Mbps, los estándares IEEE 802.11a y g alcanzan 54 Mbps. Por otro lado, el espectro radioeléctrico utilizado por estos estándares corresponde a espectro libre sin licencia, en comparación con las bandas de frecuencia con licencia necesarias para los sistemas de generación 2.5 y 3G.

Por último cabe destacar que el coste del equipamiento de las redes IEEE 802.11 es muy inferior al de otros sistemas de comunicaciones móviles.

Todas estas características provocan que la idea de diseñar una red celular para entornos exteriores basada en IEEE 802.11 resulte muy atractiva.

Actualmente, 3GPP (3rd Generation Partnership Project) ha incluido en 3GPP Release 6 propuestas de la arquitectura para conseguir la interoperatividad entre los sistemas celulares de 3G y WLAN. 3GPP consiste en una iniciativa de las organizaciones de estandarización de Europa, EEUU, Japón y Corea para obtener las especificaciones globales de UMTS. Las WLANs se consideran una tecnología complementaria factible para proporcionar a los usuarios tasas de datos elevadas en áreas específicas (*hotspots*) caracterizadas por una alta densidad de tráfico.

Hasta el momento, los estudios presentados en el campo de las WLAN se han centrado en escenarios interiores uncelulares. Recientemente, se han presentado las primeras investigaciones acerca del comportamiento de IEEE 802.11 en entornos exteriores [1] - [4]. Aunque estos estudios se basan igualmente en escenarios uncelulares.

Dado el importante crecimiento que ha experimentado la tecnología WLAN IEEE 802.11 dentro del mercado y el consiguiente interés en extender su uso a sitios públicos ubicados en entornos exteriores, este artículo tiene como objetivo principal plantear la problemática de trasladar a escenarios exteriores multicelulares el protocolo MAC del IEEE 802.11. Concretamente, en este artículo nos centramos en la evaluación de IEEE 802.11g.

En el trabajo presentado, en primer lugar, se compara el comportamiento en un escenario multicelular con el obtenido en un entorno uncelular, para así evaluar la influencia de las señales interferentes bajo diferentes situaciones de carga de las estaciones del sistema.

A partir de los resultados obtenidos se propone la utilización de diferentes esquemas de reuso de

frecuencias (*clusters*), como técnica para mitigar la influencia de las interferencias y aumentar la capacidad del sistema.

Finalmente, se presenta un mecanismo de control de potencia para las redes celulares basadas en IEEE 802.11, con el objetivo de reducir la influencia de las interferencias y aproximar el comportamiento de las diferentes estaciones al observado en un escenario unicelular.

El artículo se distribuye como se explica a continuación. En la sección 2 se presentan los principios básicos del esquema de funcionamiento de la capa de acceso al medio de IEEE 802.11. En la 3 se describe el entorno de simulación utilizado. A continuación, en la sección 4 se exponen los resultados obtenidos acerca del comportamiento de IEEE 802.11 en un entorno celular. En la sección 5 se presenta el mecanismo de control de potencia propuesto y se evalúa el comportamiento del sistema bajo estas condiciones. Finalmente las conclusiones se exponen en la sección 6.

2. Protocolo MAC IEEE 802.11

El estándar IEEE 802.11 presenta dos modos de operación: Distributed Coordination Function (DCF) y Point Coordination Function (PCF). El modo más común es DCF, cuyo esquema de funcionamiento está basado en el protocolo CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). En este caso, cuando una estación tiene un paquete listo para ser enviado, ésta únicamente puede transmitir si el canal se encuentra libre durante un periodo de tiempo llamado Distributed Interframe Space (DIFS). En caso contrario, la estación continúa escuchando el canal hasta que lo encuentre libre durante DIFS, y a continuación se espera un intervalo aleatorio de backoff antes de iniciar la transmisión. La inclusión de dicho tiempo de backoff es un mecanismo muy útil para minimizar la probabilidad de colisión entre transmisiones procedentes de diferentes estaciones. También es importante destacar, que este tiempo de backoff además es utilizado para evitar que una única estación acapare el medio, perjudicando a las demás. De esta manera una estación deberá esperar un intervalo aleatorio de backoff, además de un DIFS, entre dos transmisiones de paquetes consecutivas.

El tiempo de backoff responde a un comportamiento exponencial. Su valor se escoge de forma aleatoria en el intervalo $(0, W-1)$. W recibe el nombre de ventana de contención, y su valor depende del número de intentos de transmisión fallidos. De esta manera, la primera vez que falla la transmisión de un paquete, la ventana de contención toma su valor mínimo CW_{min} , y por cada nueva transmisión fallida W dobla su valor anterior, hasta llegar a un límite predeterminado $CW_{max}=2^m CW_{min}$. Los valores CW_{min} y CW_{max} están estandarizados y su valor depende de la capa física utilizada.

El tiempo de backoff se decrementa mientras el medio se encuentra libre. En el momento en que éste

pasa de nuevo a estar ocupado por la transmisión de un paquete procedente de otra estación, dicho decremento se paraliza, reanudándose de nuevo cuando el medio vuelve a estar libre.

IEEE 802.11 utiliza un sistema de reconocimientos positivos, ya que el esquema CSMA/CA no ofrece detección de colisiones. Cuando el paquete se recibe con éxito, la estación receptora envía el ACK correspondiente después de esperar un tiempo llamando Short Interframe Space (SIFS). Este tiempo SIFS es inferior a DIFS, y de esta manera se da prioridad a los paquetes de reconocimiento sobre los de datos.

El grupo de estándares IEEE 802.11 soporta dos tipos de BSS (Basic Service Set): el BSS independiente, conocido como red ad-hoc, que carece de conexión con la red cableada, y el BSS con infraestructura, que contiene un punto de acceso (AP) conectado a la red cableada. El segundo BSS se asemeja a las redes celulares con estaciones base. De esta manera, restringimos nuestra investigación a redes con infraestructura operando bajo el mecanismo DCF.

3. Entorno de simulación

Para analizar el comportamiento del estándar IEEE 802.11 se utiliza una herramienta de simulación que ha sido desarrollada en la UPC (Universitat Politècnica de Catalunya). El programa de simulación está escrito en lenguaje C++ y sigue los detalles especificados en el estándar IEEE 802.11, emulando de la forma más exacta posible el funcionamiento real de todas las estaciones en una red IEEE 802.11 con infraestructura. Nuestra herramienta de simulación hace posible la emulación del comportamiento de IEEE 802.11 tanto en entornos unicelulares como en multicelulares, y permite la evaluación de diferentes parámetros: throughput, retardo medio de transmisión, fracción de tiempo durante el que una estación se encuentra en estado de backoff, tiempo medio de espera en cola, probabilidad de colisión, número medio de retransmisiones por paquete retransmitido, PER (Packet Error Ratio), SIR (Signal to Noise and Interference Ratio) y fracción de tiempo que el paquete recibido resulta interferido con una potencia mayor que la del ruido.

El correcto funcionamiento de la herramienta de simulación utilizada ha sido verificado comparando los resultados obtenidos con la información publicada en [5], bajo idénticas condiciones de simulación.

El entorno de simulación escogido está formado por 100 celdas hexagonales, que forman un área rectangular. Sólo las 36 celdas centrales se toman para el cálculo de las estadísticas. Cada BSS está formado por un punto de acceso y 10 estaciones de usuario. En este caso, sólo las estaciones de usuario transmiten paquetes de datos de longitud constante de 1023 bytes, dirigidos hacia el punto de acceso,

que se encargará de retransmitirlos hacia la red cableada.

Inicialmente se ha escogido un tamaño de cluster de 3 celdas, y sólo se toma en consideración la interferencia co-canal, prescindiendo de la de canal adyacente.

El resto de parámetros utilizados se presentan en la Tabla I.

Como modelo de pérdidas de propagación se ha tomado el especificado en [4] para dispositivos IEEE 802.11 operando en la banda de 2.4 GHz en entornos exteriores.

OFDM ha sido el esquema de modulación escogido para la especificación de la capa física correspondiente al IEEE 802.11g Extended Rate PHY (ERP-OFDM). Se trata del mismo esquema utilizado en la especificación de la capa física del estándar anterior, IEEE 802.11a. En este caso se permiten 8 modos diferentes, que utilizan distintas modulaciones y tasas de codificación y proporcionan tasas de transmisión comprendidas entre 6 y 54 Mbps (Tabla II).

Finalmente se asume que el ruido presente en el canal de comunicaciones es ruido blanco Gaussiano (AWGN). La probabilidad de error de bit (P_b) depende de la modulación utilizada [6]. Para modulaciones M-QAM que utilizan una codificación de Gray y $M = 4, 16$ y 64 , P_b se calcula según:

$$P_b^{(M)} \approx \frac{1}{\log_2 M} \left(1 - (1 - P_{\sqrt{M}})^2\right), \quad (1)$$

donde

$$P_{\sqrt{M}} = 2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) Q \left(\sqrt{\frac{3}{M-1} \frac{E_{av}}{N_o}} \right). \quad (2)$$

$P_{\sqrt{M}}$ corresponde a la probabilidad de error de símbolo para la modulación M-PAM con la relación señal a ruido media por símbolo $\frac{E_{av}}{N_o}$.

Para la modulación BPSK la probabilidad de error de bit y de símbolo coinciden:

$$P_b^{(2)} = Q \left(\sqrt{2 \frac{E_{av}}{N_o}} \right). \quad (3)$$

En [7] se presentó un límite superior para la probabilidad de error de paquete, PER , considerando un decodificador de Viterbi con errores independientes a su salida, según se puede observar en la ecuación (4). El valor de P_u^m varía según el modo físico utilizado y su modulación correspondiente. Su cálculo queda detallado en [8].

El tiempo de recepción de un paquete se divide en intervalos, en los cuales la potencia de las señales

interferentes varía. Para cada intervalo se obtiene el valor de SIR y se calcula su P_u^m correspondiente.

$$PER = 1 - \left(1 - P_u^m\right)^{\text{bits por intervalo}}. \quad (4)$$

Para decidir si el paquete es erróneo en el intervalo, se calcula un valor aleatorio comprendido entre 0 y 1. Si el valor obtenido resulta inferior que el correspondiente a la PER , el paquete se considera erróneo. En caso contrario, se evalúan los siguientes intervalos siguiendo el mismo método.

TABLA I
Parámetros utilizados en las simulaciones

	802.11g (ERP-OFDM)
Tasa de transmisión de datos (Mbps)	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54
Cabecera MAC	34 bytes
ACK	14 bytes
Preámbulo PHY	16 μ s
Cabecera PHY	4 μ s
Slot Time	9 μ s
SIFS	10 μ s
DIFS	28 μ s
PIFS	19 μ s
Tamaño mínimo de la ventana de backoff	16
Tamaño máximo de la ventana de backoff	1024
Duración del símbolo OFDM	4 μ s
Radio de la celda	350 m
Nivel de potencia a la salida del transmisor	30 dBm
Nivel de potencia mínimo recibido en el AP	-65 dBm
Potencia del ruido	-96 dBm

TABLA II
PHY-MODES de IEEE 802.11g ERP-OFDM

Modo	Modulación	Tasa de codificación	Tasa de transmisión (Mbps)
1	BPSK	1/2	6
2	BPSK	3/4	9
3	QPSK	1/2	12
4	QPSK	3/4	18
5	16-QAM	1/2	24
6	16-QAM	3/4	36
7	64-QAM	2/3	48
8	64-QAM	3/4	54

4. Comportamiento del sistema

Con el fin de evaluar el comportamiento de IEEE 802.11g en un escenario multicelular, se presenta una comparación de éste con el obtenido en un escenario unicelular, para diferentes condiciones de carga del sistema. En un sistema celular a medida que el tráfico ofrecido al sistema aumenta, la fracción de tiempo que el paquete recibido resulta interferido con una potencia mayor que la del ruido también se ve incrementada. De esta manera, la SIR se reduce provocando el aumento de la PER. Las distintas tasas de transmisión ofrecidas utilizan diferentes esquemas de modulación con su probabilidad de error de bit correspondiente, según las ecuaciones (1) – (3). Por consiguiente, la PER aumenta con la velocidad de transmisión. En consecuencia, para tasas de transmisión a partir de 48 Mbps, el throughput del sistema disminuye considerablemente a medida que la carga ofrecida al sistema aumenta, en comparación con la situación unicelular (Fig. 1).

En el caso multicelular el comportamiento de las diferentes estaciones dentro de una celda será diferente, dependiendo de la distancia que las separe de su punto de acceso. Los paquetes procedentes de las estaciones que están situadas en los extremos de la celda llegan al punto de acceso con menor potencia. Por lo tanto la SIR en el AP (Fig. 2) de los paquetes procedentes de estas estaciones será menor y consecuentemente su PER aumentará (Fig. 3). El valor de la SIR para la estación más alejada de su AP se encuentra un 71.85% por debajo del obtenido para la más cercana, cuando la carga ofrecida al sistema es elevada. Los paquetes perdidos serán retransmitidos provocando el aumento de la probabilidad de colisión de las tramas procedentes de las estaciones más alejadas, e incrementando la fracción de tiempo durante el que éstas se encuentran en estado de backoff. En consecuencia, el throughput de las estaciones más alejadas del AP disminuirá de forma considerable. Asimismo, las estaciones más cercanas se aprovecharán de esta situación alcanzando un throughput mayor (Fig. 4). Éstas consiguen aumentar su throughput un 48.7% respecto al caso unicelular, bajo condiciones de carga elevada.

El objetivo es conseguir que todas las estaciones de una celda tengan un comportamiento homogéneo, de tal manera que ninguna de ellas resulte más perjudicada que el resto. Para ello, se propone el uso de clusters de tamaños superiores, que consiste en una técnica muy común para reducir la influencia de la interferencia en sistemas celulares. A medida que este tamaño aumenta, la fracción de tiempo que el paquete recibido resulta interferido con una potencia mayor que la del ruido disminuye, lo que permite un incremento de la SIR (Fig. 5) y la consiguiente disminución de la PER (Fig. 6). De esta manera se consigue uniformizar el funcionamiento de las diferentes estaciones dentro de la celda y, consecuentemente, aproximar el

comportamiento del sistema celular al obtenido en el escenario unicelular (Fig. 7).

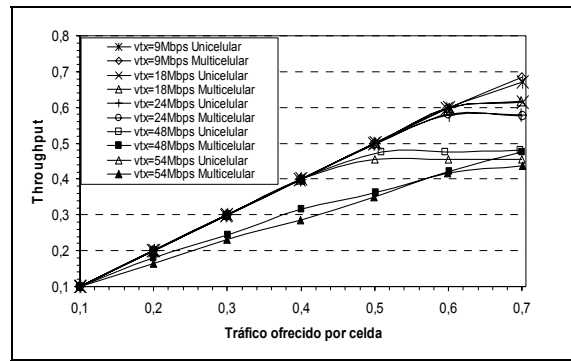


Fig. 1. Throughput por celda en función del tráfico ofrecido por celda

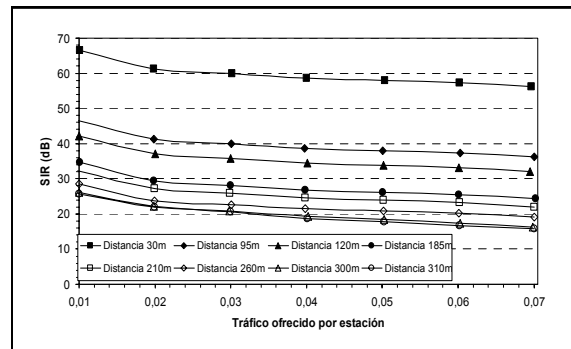


Fig. 2. SIR en función del tráfico ofrecido por estación, para vtx=48Mbps

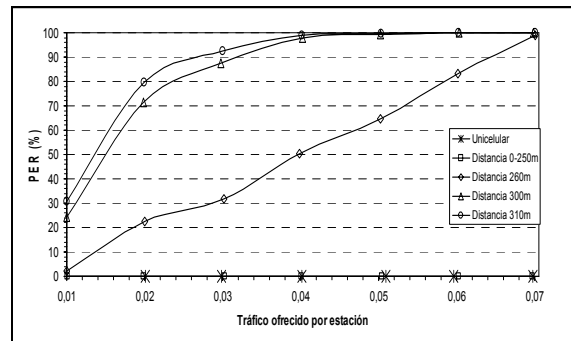


Fig. 3. PER en función del tráfico ofrecido por estación, para vtx=48Mbps

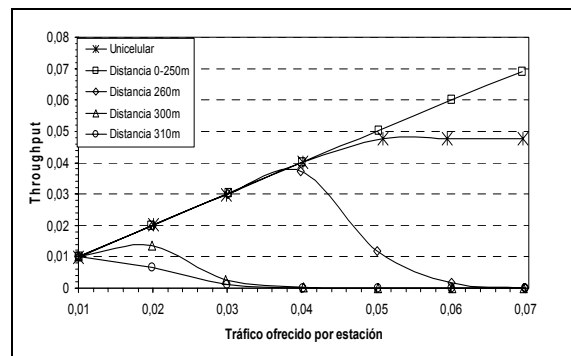


Fig. 4. Throughput por estación en función del tráfico ofrecido por estación, para vtx=48Mbps

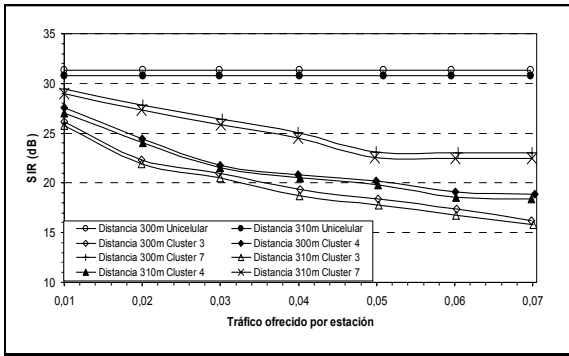


Fig. 5. SIR en función del tráfico ofrecido por estación, para diferentes clusters y $v_{tx}=48\text{Mbps}$

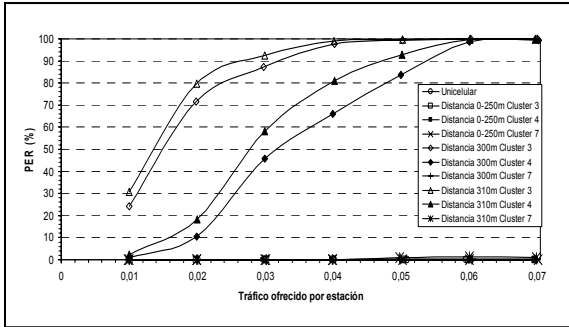


Fig. 6. PER en función del tráfico ofrecido por estación, para diferentes clusters y $v_{tx}=48\text{Mbps}$

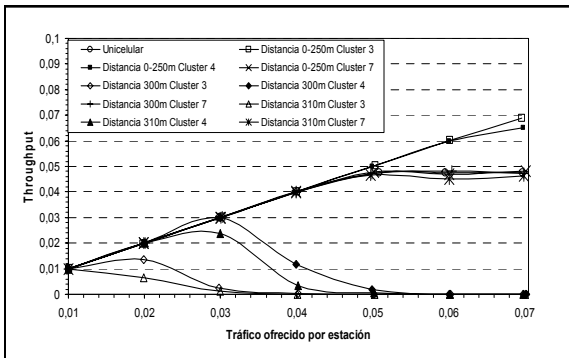


Fig. 7. Throughput por estación en función del tráfico ofrecido por estación, para diferentes clusters y $v_{tx}=48\text{Mbps}$

Sin embargo, actualmente, la legislación vigente sólo permite la utilización de 3 canales no solapados en la banda de 2.4 GHz. Por lo tanto, a día de hoy la implementación de clusters de tamaños superiores no es posible en esta banda. Por otro lado, la legislación que regula la banda de 5 GHz permite la utilización de un número mayor de canales no solapados, lo que permitiría la implementación de sistemas celulares con tamaños de clusters superiores.

En consecuencia, en la banda de 2.4 GHz se hace necesaria la búsqueda de nuevas técnicas para conseguir mitigar el efecto de la interferencia y aproximar el comportamiento de las estaciones al obtenido en un sistema uniclular. De esta manera, en la sección siguiente se presenta un mecanismo de control de potencia en los terminales móviles, que permite que el punto de acceso reciba los datos de las diferentes estaciones de un BSS con igual potencia.

5. Comportamiento del sistema bajo el mecanismo de control de potencia

Existen diferentes técnicas para implementar un mecanismo de control de potencia. En primer lugar, encontramos la más simple que consistiría en regular manualmente la potencia de transmisión utilizando el software de configuración que proporcionan la mayoría de dispositivos IEEE 802.11. Por otro lado, el control de potencia se puede hacer de forma dinámica en base a las condiciones momentáneas del canal de comunicación, mediante la adaptación dinámica de la potencia de transmisión según el valor de la SIR. En este último caso puede resultar necesaria la modificación o definición de algunos paquetes de control, como las propuestas en el estándar IEEE 802.11h.

El mecanismo de control de potencia en los terminales móviles que proponemos trabaja siguiendo los pasos que se explican a continuación. Se trata de un método simple, cuya implementación resulta sencilla en un hardware real.

Inicialmente, todas las estaciones realizan sus transmisiones utilizando el máximo nivel de potencia, 30 dBm. En las redes con infraestructura, los APs además transmiten de forma periódica tramas de control conocidas como Beacons. Sus objetivos principales consisten en anunciar la existencia de una red y colaborar en sus tareas de mantenimiento. Cada estación recibe el Beacon con un valor de potencia diferente, dependiendo de la distancia que la separe de su AP. De esta manera, cada estación es capaz de obtener el valor de las pérdidas relativas a su posición respecto su AP, y calcular el nivel de potencia necesario a su salida para que los paquetes transmitidos lleguen al AP siempre con una potencia fija. Considerando que la sensibilidad en el receptor toma un valor de -71 dBm, hemos escogido un valor fijo de potencia en la recepción del AP de -65 dBm. Las estaciones móviles mantienen la misma potencia de transmisión mientras conserven la misma posición. Por otro lado, los APs transmiten siempre utilizando el máximo nivel de potencia. De esta manera, el método propuesto únicamente implementa el control de potencia en el canal ascendente. No obstante, la comunicación en el canal descendente también se ve mejorada, gracias a la reducción de la potencia de las señales interferentes procedentes de las estaciones móviles.

Con el objetivo de evaluar el mecanismo propuesto, a continuación se presenta el comportamiento del sistema multicelular operando bajo diferentes condiciones de tráfico por estación.

Utilizando el mecanismo de control de potencia propuesto, la SIR en el AP se mantiene constante para los paquetes generados en las diferentes estaciones (Fig. 8). De esta manera, las estaciones más distantes consiguen una mejora importante de su SIR respecto al caso original, y su comportamiento se acerca al obtenido en un escenario uniclular. La estación más alejada mejora su SIR en un 17%, cuando la carga ofrecida al

sistema aumenta. De acuerdo con el comportamiento de la SIR en el AP, el valor de la PER en el AP también se mantiene constante para los paquetes generados en las diferentes estaciones. Las estaciones más alejadas consiguen disminuir su PER de forma considerable; la estación más distante alcanza una reducción de un 45%, cuando la carga ofrecida al sistema es elevada.

Por otro lado, utilizando el mecanismo de control de potencia propuesto los APs continúan transmitiendo con el nivel de potencia máximo, mientras que el resto de estaciones han disminuido su potencia de transmisión. Por consiguiente, los ACKs generados en cada AP se reciben en las distintas estaciones con un nivel de potencia diferente, que dependerá de la distancia presente entre la estación y su AP. De esta manera el valor de la SIR en las estaciones disminuye con el aumento de la distancia (Fig. 9). No obstante, su comportamiento mejora respecto al caso original, ya que gracias al control de potencia el nivel de la interferencia disminuye, y de esta manera, su comportamiento se acerca al obtenido en un escenario unicelular. En consecuencia, la PER en las estaciones, aunque se incrementa a medida que la distancia respecto al AP aumenta, se reduce de forma considerable respecto al caso original.

Con la utilización del mecanismo de control de potencia, las estaciones más alejadas experimentan una importante reducción en la PER, hecho que provoca el descenso del número medio de retransmisiones por paquete retransmitido en estas estaciones, respecto al caso original.

La probabilidad de colisión de los paquetes aumenta con el número de retransmisiones, y a su vez se incrementa la fracción de tiempo durante el que las estaciones correspondientes se encuentran en estado de backoff. Por lo tanto, con la utilización del mecanismo de control de potencia propuesto ambos parámetros experimentan el mismo comportamiento que el obtenido para el número de retransmisiones.

Finalmente, en la Fig. 10 se puede observar la evolución del throughput para estaciones situadas a diferente distancia de su AP y bajo diferentes condiciones de carga. Cuando el sistema se encuentra bajo condiciones de baja carga, el comportamiento obtenido es idéntico, tanto si se considera un escenario unicelular, una red celular o si se utiliza el mecanismo de control de potencia. Sin embargo, a medida que la carga ofrecida al sistema aumenta, el empleo del mecanismo de control de potencia propuesto consigue incrementar el throughput de las estaciones más alejadas de su AP, respecto al caso original. De esta manera el throughput se mantiene constante para las diferentes estaciones. Sin embargo, el throughput de saturación (la capacidad del sistema cuando todas las estaciones tienen siempre un paquete listo para ser transmitido) alcanzado por las diferentes estaciones disminuye de forma considerable respecto al caso original.

6. Conclusiones

Hasta el momento los estudios llevados a cabo sobre el comportamiento del MAC de IEEE 802.11 se han centrado en entornos interiores unicelulares.

Sin embargo, gracias a las diferentes ventajas que presentan los sistemas basados en IEEE 802.11, la idea de diseñar una red celular para entornos exteriores basada en IEEE 802.11 resulta muy atractiva.

En este artículo se ha presentado, en primer lugar, una evaluación del estándar IEEE 802.11 en un entorno multicelular exterior; concretamente nos hemos centrado en el análisis del estándar IEEE 802.11g.

El comportamiento del sistema empeora respecto al caso unicelular, debido a la presencia de señales interferentes. Concretamente, el comportamiento de cada estación depende de la distancia respecto a su AP, y empeora con el aumento de esta longitud.

En el artículo presentado, se proponen diversas técnicas para mitigar el efecto de la interferencia y aproximar el comportamiento del sistema al presentado en un escenario unicelular.

En primer lugar se estudia la utilización de clusters de tamaños superiores, que consiste en una técnica muy común para reducir la influencia de la interferencia en sistemas celulares. De esta manera se consigue mejorar el comportamiento del sistema respecto al caso original.

No obstante, la legislación actual sólo permite la utilización de 3 canales diferentes no solapados en la banda de 2.4 GHz. Por lo tanto, a día de hoy, la implementación de clusters de tamaños superiores no es posible. Se hace necesaria la búsqueda de nuevas técnicas. De esta manera se propone la aplicación de un control de potencia en los terminales móviles, que permita que el punto de acceso reciba los datos de las diferentes estaciones de un BSS con igual potencia.

Los resultados presentados verifican que el mecanismo de control de potencia propuesto consigue que las estaciones de una celda tengan un comportamiento homogéneo y que éste se aproxime al obtenido en un escenario unicelular.

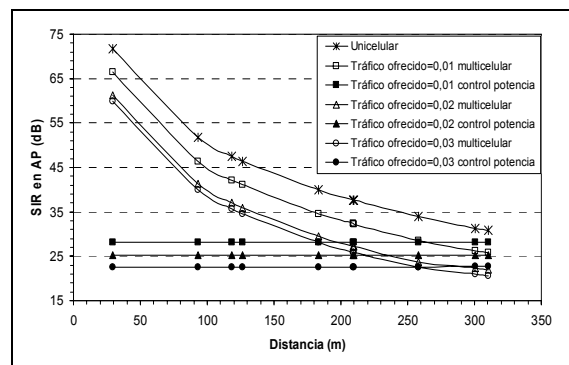


Fig. 8. SIR en el AP en función de la distancia de la estación al AP, para $v_{tx}=48\text{Mbps}$

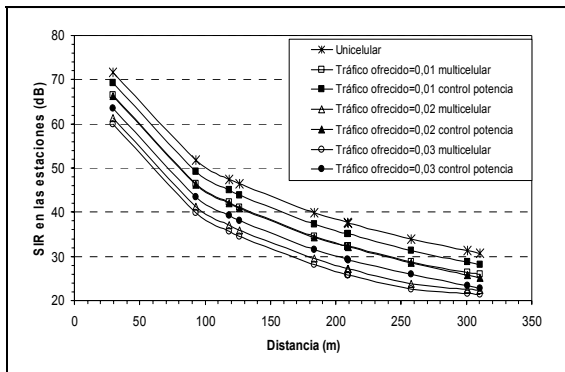


Fig. 9. SIR en las estaciones en función de la distancia de la estación al AP, para $v_{tx}=48\text{Mbps}$

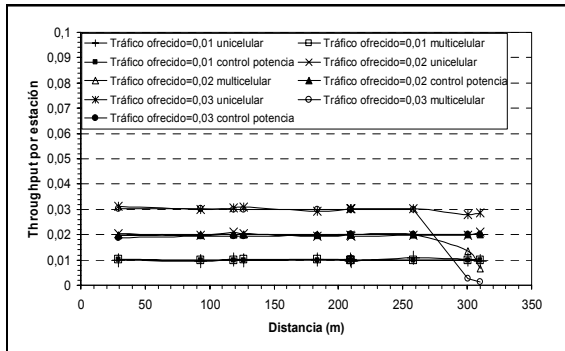


Fig. 10. Throughput por estación en función de la distancia de la estación al AP, para $v_{tx}=48\text{Mbps}$

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por FEDER y el gobierno español a través del proyecto CICYT TIC2003-01748.

Referencias

- [1] M. V. Clark, K. K. Leung, B. McNair, Z. Kostic, "Outdoor IEEE 802.11 cellular networks: radio link performance", *IEEE International Conference on Communications 2002 (ICC 2002)*, Vol. 1, April 2002, pp. 512 - 516.
- [2] K. K. Leung, B. McNair, L. J. Cimini, J. H. Winters, "Outdoor IEEE 802.11 cellular networks: MAC protocol design and performance", *IEEE International Conference on Communications 2002 (ICC 2002)*, Vol. 1, April 2002, pp. 595 - 599.
- [3] C. Steger, P. Radosavljevic, J. P. Frantz, "Performance of IEEE 802.11b wireless LAN in an emulated mobile channel", *Vehicular Technology Conference 2003. (VTC 2003-Spring)*, Vol. 2, April 2003, pp. 1479 - 1483.
- [4] D. B. Green, M. S. Obaidat, "An accurate line of sight propagation performance model for ad-hoc 802.11 wireless LAN (WLAN) devices", *International Conference on Communications 2002 (ICC 2002)*, Vol. 5, April 2002, pp. 3424 - 3428.
- [5] G. Bianchi, "Performance analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function", *IEEE Journal on selected areas in communications*, Vol. 18, No. 3, March 2000, pp. 535 - 547.
- [6] J. G. Proakis, *Digital Communications, 4th ed.*, McGraw Hill, New York, 2001.
- [7] M. B. Pursley, D. J. Taipale, "Error Probabilities for Spread-Spectrum Packet Radio with Convolutional Codes and Viterbi Decoding", *IEEE Transactions on Communications*, Vol. COM-35, No. 1, Jan 1987, pp. 1-12.
- [8] D. Qiao, S. Choi, K. G. Shin, "Goodput analysis and link adaptation for IEEE 802.11a wireless LANs", *IEEE Transactions on mobile computing*, Vol. 1, No. 4, October - December 2002, pp. 278 - 292.