

Evaluación de los sistemas inalámbricos 802.11b en entornos de alta movilidad para su implantación en una red de Infostations

Juan Ramón Cayón Alcalde y Eduardo Magaña Lizarrondo
Departamento de Automática y Computación
Universidad Pública de Navarra
C/ Campus Arrosadia, 31006 Pamplona
Teléfono: 948 169853 Fax: 948 168924
E-mail: eduardo.magana@unavarra.es

Abstract. Nowadays, users demand higher bandwidth Internet access with the ability to connect anywhere (or, at least, many-where) at anytime, with no restrictions imposed by mobility or the kind of information (voice or data) to exchange. In this context, we've tried to explore the possibilities of a largely characterized and cheap wireless solution, 802.11b, in a high mobility environment. The performance of 802.11b wireless LANs is well known for indoor and static environments, while their behavior in outdoor and mobile environments has not been explored but from a theoretical point of view. Our work tests an empirical approach to 802.11b real possibilities on a high speed mobile environment. The goal was to check if a mobile station, moving at vehicular speed, was able to communicate with an AP at the roadside. Our results show that it is possible and achieving interesting throughput levels.

1 Introducción

Los sistemas 802.11 [1] no fueron diseñados para trabajar en entornos móviles, sin embargo la evolución de la demanda del mercado de las telecomunicaciones ha ido obligando a la búsqueda de vías que permitan que servicios que hasta ahora sólo estaban disponibles en entornos estáticos, sean accesibles al mundo de las comunicaciones móviles. El objetivo es intentar que las redes inalámbricas cubran cada vez superficies más amplias, dando servicio tanto a usuarios en movimiento como estáticos [2]. La forma de hacerlo es integrando distintos protocolos inalámbricos en un mismo sistema, de modo que se satisfagan todos los tipos de demanda de servicio, de una manera totalmente transparente al usuario. Es en este escenario donde tecnologías ya existentes y de bajo coste, como es el caso de 802.11b, pueden reclamar su espacio si su rendimiento nos ofrece una QoS aceptable.

El comportamiento y rendimiento de 802.11b en entornos estáticos ha quedado totalmente caracterizado a partir de la gran cantidad de estudios existentes, tanto teóricos como prácticos [3]. También se ha estudiado el comportamiento en entornos de baja movilidad; en concreto el proceso de handoff entre distintos APs [4], cuando trabajamos en modo infraestructura, y el desarrollo de redes móviles Adhoc [5]. Para el caso de entornos de alta movilidad se han realizado estudios mediante emuladores [6], sin embargo no tenemos referencias de que exista ningún estudio empírico al respecto. Las únicas referencias existentes pertenecen a iniciativas privadas o con capital privado [7][8][9], que implementan servicios y realizan experiencias piloto, en muchas ocasiones utilizando soluciones propietarias, y sobre los que no se publican

resultados. La ausencia de datos de medidas de campo lleva a plantearse de nuevo una pregunta que otros se habían hecho con anterioridad a nivel teórico: cuáles son los límites “reales” de movilidad de la tecnología WLAN.

2 El Concepto de Infostation

El modelo de red celular, ampliamente extendido gracias a la telefonía móvil, presenta una estructura que permite un acceso ubicuo a los servicios ofrecidos por la misma. Dichos sistemas están diseñados de modo que cualquier usuario dentro de una célula, independientemente de su distancia a la estación base de la misma, obtenga una mínima calidad en el servicio. Esto, unido a la continuidad de la estructura celular, da como resultado una cobertura en cualquier momento y en cualquier lugar.

Frente al modelo de red celular, con cobertura ubicua y células adyacentes pero ineficiente desde el punto de vista del *throughput/coste*, surge el modelo de red de *infostations*. Esta arquitectura de red, ya enunciada en 1996 [10], se caracteriza por una estructura discontinua de celdas aisladas y separadas entre sí, dentro de las cuales existe un gran ancho de banda que permite la descarga de grandes ráfagas de datos durante el tiempo que el móvil las atraviesa. Un diseño de estas características resulta eficiente porque los nodos se comunican sólo cuando están próximos y tienen unas buenas condiciones de canal. Si bien es cierto que el tamaño de las islas de cobertura es pequeño, favorece el empleo de bajos niveles de potencia en la estación móvil y de bandas de frecuencia distintas a las de la telefonía móvil.

Al contrario de lo que ocurre con las comunicaciones de voz, la transmisión de datos de determinadas aplicaciones es mucho más tolerante frente a retardos

y no requiere una conexión continuada ni una velocidad de transmisión específica, por lo que encajaría mejor en este concepto de sistema inalámbrico eficiente, en el que pasamos de una cobertura en todo instante y en cualquier lugar a una cobertura en algunos instantes y en determinados lugares.

Dentro de los distintos escenarios en los que podríamos aplicar esta estructura de red, resultan especialmente interesantes aquellos en los que existe movilidad por parte del usuario y particularmente movilidad a altas velocidades. En estos casos, dado el poco tiempo que pasa el móvil dentro de la zona de cobertura, se podrá dar la circunstancia de que la descarga no se complete por lo que deberá continuar cuando el usuario atraviese otra celda (Figura 1).

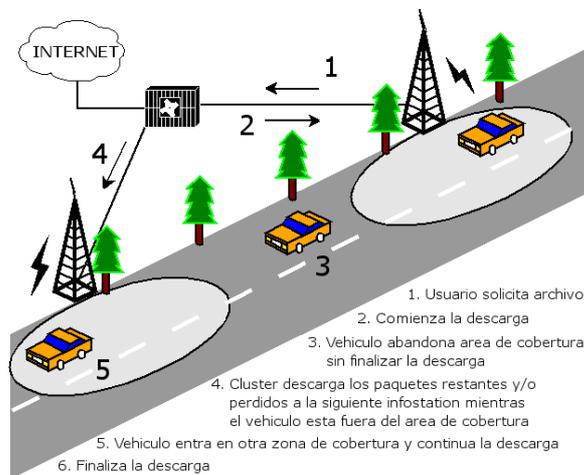


Figura 1: Cluster de infostations para clientes móviles de alta velocidad

Evidentemente, este tipo de estructura de red plantea nuevos retos y necesidades, como pueden ser la predicción de movilidad de la estación, o incluso la predicción de la información que pueda solicitar un usuario, necesidades que requieren la utilización de protocolos más complicados a nivel de gestión de red y de datos, para los que ya se han propuesto algunas soluciones concretas [11].

Las posibles aplicaciones de estos sistemas son múltiples: descarga de archivos multimedia (audio o vídeo), descarga de correo electrónico, de información sobre el estado de la red viaria, mapas (formato plano, ortofotos, renderizaciones 3D) de la zona por la que se esté viajando, etc. Existen proyectos de aplicaciones concretas, en su mayoría basados en el estándar DSRC (Dedicated Short Range Communications) [12], como pueden ser el DriveBy InfoFuelling de la Daimler Chrysler [13] o Infostations for Emergency Applications del WINLAB de la Rutgers University [14]. Escenarios como una autopista o un tren, son especialmente interesantes, ya que poseen un trazado concreto y, por tanto, un desplazamiento fácilmente predecible. El aprovechamiento de esta circunstancia permite una mayor eficiencia a la hora de servir la información.

3 Diseño del experimento

3.1 Equipo

Para la construcción de la estación móvil empleamos un Volkswagen Passat, en cuyo interior montamos un ordenador portátil DELL Inspiron 8100 (procesador Intel Pentium III Mobile a 1GHz y 256Mb de RAM) con una tarjeta NL-2511CD PLUS EXT configurada en modo Managed (cliente). La tarjeta, a su vez, estaba conectada a una antena externa montada en el techo del vehículo.

El nodo estático, lo construimos colocando sobre una mesa con ruedas (en la que iba montada la antena externa sobre un bastidor) un ordenador portátil DELL Latitude (procesador Pentium III 500MHz y 256Mb de RAM), con una tarjeta NL-2511CD PLUS EXT configurada en modo Master (hostAP). De este montaje resulta un punto de acceso ligero y de fácil transporte que podemos ver en la Figura 2.

Uno de los mayores problemas a superar está en la implementación tecnológica. Todos los estudios empíricos realizados muestran cómo el comportamiento de los sistemas 802.11 es altamente dependiente del hardware empleado. Los equipos presentan eficiencias muy diferentes tanto a nivel individual [3], como a la hora de interactuar para implementar una red [4].



Figura 2: Punto de acceso empleado durante las medidas de campo.

Aunque el empleo de equipos de un mismo fabricante no tiene por qué asegurar un mejor rendimiento del sistema [4], utilizamos tarjetas idénticas para implementar la estación móvil y el punto de acceso por varios motivos: (1) *su alta potencia de salida*, pues tienen una potencia de emisión de 20dB frente a los 12-15dB que suelen tener las tarjetas normales; (2) *el conector de antena externa*, que permite aumentar la ganancia; (3) *el modo Access Point*, que permite configurar la tarjeta para funcionar en modo punto de acceso.

El SO empleado en ambos equipos fue Red Hat Linux 9 con kernel 2.4.20-13.9.HOSTAP [15]. Para poder hacer funcionar las tarjetas en modo AP en Linux es necesario el driver hostAP [16], por lo que el kernel que empleamos es una versión ya compilada que contiene dichos drivers instalados. Como herramienta de generación de tráfico no se ha podido utilizar herramientas como *iperf* porque necesitan establecer una conexión de control paralela que los hace no operativos para nuestro caso de estudio en el que fuera del área de cobertura no se puede establecer tal conexión de control. Por tanto realizamos nuestro propio generador de tráfico UDP. Dicha aplicación nos permite controlar la tasa de transmisión, el tamaño de paquete y el puerto y máquina destino, y nos muestra por pantalla el identificador y *timestamp* de los paquetes que envía/recibe y la tasa media de transmisión cada segundo.

3.2 Escenario de medida

Se llevaron a cabo una serie de trabajos previos en el laboratorio, de cara a tratar de determinar si nuestro experimento era viable, de qué modo podíamos ejecutarlo e identificar cuáles iban a ser los principales obstáculos con que nos íbamos a encontrar. Un experimento de estas características presenta distintos problemas de tipo técnico, que dificultan enormemente la realización de medidas repetitivas. Por ello, se ha tratado de sistematizar y acotar al máximo las condiciones de trabajo, de modo que podamos dotar de un mínimo de validez a los resultados obtenidos.

Nuestro objetivo principal es comprobar si una estación móvil, desplazándose a una velocidad superior a los 50km/h era capaz de comunicarse con un AP situado junto a la calzada. Simplificando este planteamiento al máximo, se trataba de que una estación generase tráfico, la otra lo captase y, para ver la bondad de la comunicación, analizar cuánto del tráfico generado había sido capturado.

Para las medidas de campo es vital la elección del lugar donde se realizarían. Es necesario poder alcanzar una cierta velocidad de desplazamiento significativa, pero también es importante incluir en la medida la degradación multicamino, que supone la presencia de edificios y otros obstáculos. Se eligió el tramo de carretera que muestra la Figura 3 porque reúne todas las condiciones anteriores: se pueden alcanzar velocidades de hasta 80 km/h y el tramo de cobertura presenta un edificio de unos 8 metros de altura a un lado de la carretera y un talud de similares dimensiones al otro, con farolas, árboles y arbustos, tanto a ambos lados de la vía como en la mediana. Por tratarse de una zona con tráfico medio, la constante presencia de coches también supone la adición de nuevos obstáculos, que complican las condiciones de conexión. Además, por tratarse de un tramo situado entre dos rotondas, posibilita la configuración de un "circuito" que permite circular al

vehículo de manera ininterrumpida y a una velocidad constante, al menos dentro de las zonas de cobertura.

En cada captura el vehículo da dos vueltas completas al circuito, pasando 4 veces por la zona de cobertura. Lógicamente, cuando circula en sentido sur-norte, al estar un poco más alejado del AP y haber más obstáculos interpuestos sucede que la conexión se ve ligeramente degradada con respecto a cuando circula en sentido norte-sur. Al no poder realizar medidas en una zona de autopista nuestro rango de velocidades se ve limitado. Resultados obtenidos en estudios teóricos previos [6], indicaban que, con una SNR de 20dB el throughput se estabiliza en torno a los 20km/h y con una SNR de 15dB en torno a los 40 km/h, cayendo de los 3Mbps de la primera a 1Mbps en la segunda. Así pues seleccionamos velocidades de 60 km/h y 80km/h, lo suficientemente altas como para estudiar el comportamiento de un sistema que se supone diseñado para entornos estáticos.



Figura 3: Vista aérea de la zona de medidas.

Para la configuración de los equipos creamos nuestra propia red, a la que identificamos bajo el nombre de *experimento*, establecemos el canal 6 como frecuencia de trabajo (2,437GHz) y transmitimos a la máxima potencia (20dB) dejando uno como estación móvil o cliente (*managed*) y el otro como estación base o AP (*master*). Para el resto de parámetros dejamos la configuración por defecto que traen las tarjetas, con lo que la modulación es seleccionada automáticamente por las mismas.

3.3 Medidas

Durante todo el experimento la estación móvil ha funcionado como fuente de tráfico y la estación base, o AP, como receptor del mismo. Hemos utilizado nuestros propios programas fuente y sumidero, basados en tráfico UDP, para generar el flujo de paquetes entre ambos equipos.

La fuente, genera un envío de paquetes en el que controlamos tanto el tamaño de los mismos como la velocidad a la que se transmiten. Esto nos permitirá, a posteriori, realizar comparativas del comportamiento del sistema a distintas tasas de transmisión y para distintos tamaños de paquete. Todos los paquetes contienen un índice identificador y el timestamp de cuando han sido generados, los cuales quedan almacenados en un archivo de datos. Además, la fuente realiza un cálculo sobre la tasa real a la que está enviando los paquetes, en Mbps. Es importante hacer notar que la tasa de transmisión es la velocidad a la que la fuente genera los paquetes y los entrega al interfaz para su envío siendo el interfaz el que, según las condiciones del canal, decide si enviar o no los paquetes y qué velocidad de modulación emplear para ello (1, 2, 5.5 o 11 Mbps para 802.11b). La selección de la modulación se ha dejado en manos de la propia tarjeta. Los resultados de simulaciones previas [6] muestran que, en general, se obtienen mayores niveles de throughput y menores pérdidas de paquetes en el modo automático que en el resto de los modos de manera aislada.

El sumidero se queda escuchando en un puerto concreto, recoge los paquetes, extrae el identificador de paquete, almacenando en el archivo de datos el identificador y el timestamp de ese instante. La decisión de hacer las medidas en un entorno con topología en modo infraestructura (con la presencia de un AP) implica que para poder comunicarse, la estación móvil ha tenido que, previamente, detectar la presencia del AP y asociarse al mismo. De este modo, los retardos producidos en el proceso de asociación ya están incluidos en la medida.

Para la realización del experimento hemos considerado las tasas de transmisión comprendidas entre 500 Kbps y 4Mbps, con saltos de 500Kbps; los tamaños de paquete empleados han sido: 64, 500, 1000 y 1500 bytes.

3.4 Zonas de *cobertura aceptable*: mesetas

Para el procesado de las medidas hemos empleado una serie de scripts, a partir de los cuales obtenemos, para cada segundo, el número de paquetes recibidos y perdidos y el throughput estimado y real. Conociendo las condiciones de tasa de transmisión, tamaño de paquete, etc., de la captura que procesamos, podemos obtener la información recibida y perdida por segundo, en distintas unidades: en %, en Kbps, etc.

Inicialmente procesamos el número de paquetes recibidos por segundo, cruzando los datos obtenidos en los archivos de captura de origen y destino, y tomando como referencia temporal el *timestamp* del primero: en el archivo de la fuente vemos qué paquetes han sido generados dentro de un determinado segundo y, con esta información, vamos al del destino y comprobamos cuántos de éstos han sido recibidos. La Figura 4 muestra el resultado.

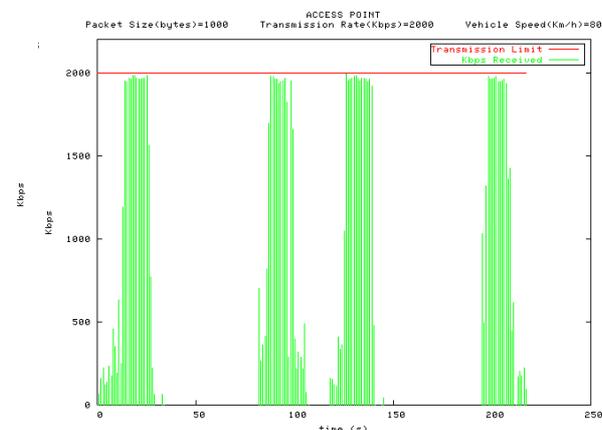


Figura 4: Información "entregada" (Kbps) frente al tiempo, durante todo el intervalo de medida.

Así pues, el efecto final es que no estamos midiendo tanto la información recibida por segundo sino, más bien, cuanta de la información generada en un determinado segundo llega a su destino.

Por otro lado, no es lógico considerar que tenemos cobertura, por el simple hecho de que recibamos uno o dos paquetes, en un segundo determinado. Es necesario discriminar parte de la información capturada, y aquí es donde entra nuestro concepto de *cobertura aceptable*. Realmente no es un concepto sino el conjunto de restricciones que hemos impuesto, a la hora de procesar los datos, para definir unos intervalos de cobertura más o menos homogénea. Dichas condiciones son:

- Sólo consideraremos que hay cobertura en aquellos segundos en los que recibamos, al menos, el 90% de la información transmitida.
- El intervalo de cobertura ha de tener una duración mínima de 5 segundos
- Dentro del intervalo de cobertura puede haber vanos (segundos dentro de los cuales no recibimos el 90% de la información) pero no pueden tener más de 2 segundos de duración.

Una vez incluidas las restricciones, obtenemos el resultado mostrado en la Figura 5. Pueden observarse cuatro intervalos de cobertura, claramente identificables, que se corresponden con los cuatro pasos del vehículo por el entorno de la estación base, y que hemos dado en llamar *mesetas*. En realidad, lo que estamos mostrando es el throughput o, más

concretamente, durante cuantos segundos recibimos, al menos, el 90% de la información transmitida

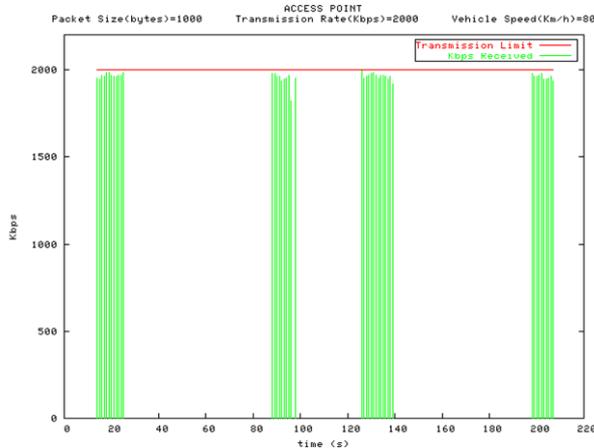


Figura 5: Información “entregada” (Kbps) frente al tiempo, tras aplicar a los datos de la las restricciones de cobertura aceptable

4 Resultados y análisis

Quizás el número de capturas realizadas no sea lo suficientemente amplio como para lanzar afirmaciones categóricas sobre el rendimiento del protocolo 802.11b en entornos de alta movilidad. Sin embargo, los resultados que a continuación presentamos nos parecen muy interesantes y muestran un comportamiento que nos permite hacer conclusiones de interés.

A la hora de estudiar los resultados de las distintas medidas, hemos de considerar las tres variables con las que hemos jugado, esto es: tasa de transmisión, tamaño de paquete y velocidad del vehículo o estación móvil. Para facilitar el análisis comparativo del comportamiento del sistema hemos aislado los estudios para cada una de las velocidades de vehículo (60 y 80 km/h) viendo cómo variaban el nivel de información recibida y perdida (en tanto por ciento) y la duración de las *mesetas* o zonas de cobertura (en segundos), tanto en función de la tasa de transmisión como en función del tamaño de paquete. Finalmente hemos contrastado los resultados de ambos estudios, para ver en qué modo ha afectado la velocidad de la estación móvil.

Las comparativas se han realizado para los cuatro tamaños de paquete empleados en las medidas; sin embargo, las capturas realizadas con paquetes de 64 bytes tan sólo ofrecen resultados satisfactorios dentro de los parámetros de *cobertura aceptable* por nosotros establecidos, a 60km/h y 500Kbps de tasa de transmisión. A mayores tasas el nivel de información recibida está siempre por debajo del 90% de la transmitida. Si nos fijamos en el método de acceso al medio de 802.11 veremos que, una vez establecida la comunicación entre estación móvil y AP, cada paquete de datos enviado se responde con un ACK desde el receptor. Con un tamaño de paquete tan

pequeño, estamos enviando muchos paquetes por segundo, con lo que el número de tramas correspondientes al protocolo de señalización 802.11b también será muy alto reduciéndose el ancho de banda disponible para el envío de información. De hecho, si pensamos que 802.11 está basado en Ethernet y que en dicho protocolo una trama no puede tener menos de 64 bytes, nos encontramos que cuando realizamos transmisiones con un tamaño de paquete de 64 bytes, el 50% de la información que circula por el canal se corresponde con tramas ACK, con lo que estamos reduciendo el ancho de banda disponible para datos a la mitad como mínimo.

Por otro lado, a partir de los 3.5Mbps de tasa de transmisión, ocurre lo mismo con los paquetes de 500 bytes; sin embargo con los paquetes 1000 bytes y 1500 bytes todavía obtenemos datos, tanto a 3.5Mbps como a 4Mbps, aunque los intervalos de cobertura se reducen drásticamente.

4.1 Efecto sobre el tiempo de cobertura

Para obtener la medida del tiempo de cobertura realizamos un conteo de los segundos durante los cuales se cumplen las condiciones que hemos definido como *cobertura aceptable*. El resultado comparativo podemos verlo en la Figura 6 para 60Km/h y en la Figura 7 para 80Km/h.

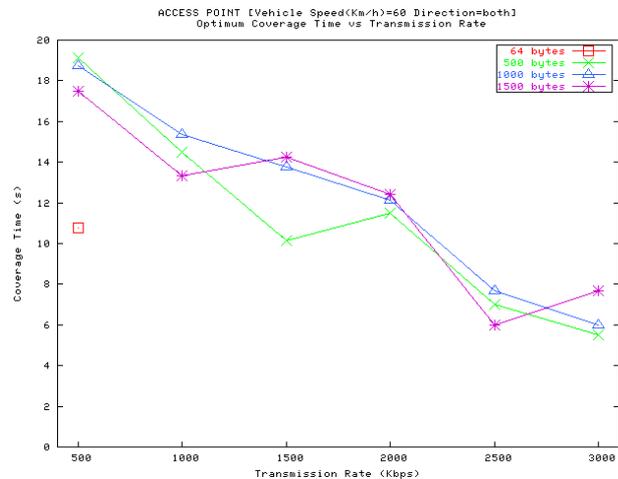


Figura 6: Intervalo de Cobertura (sg) vs Velocidad de Transmisión a 60 km/h

Cuanto mayor sea la tasa de transmisión mayor será la velocidad de modulación que he de emplear para el envío de la información. Sin embargo, la velocidad de modulación está regida por las condiciones del canal: cuanto mejores sean éstas, mayor velocidad de modulación podremos emplear. Por lo tanto, al aumentar la tasa de transmisión estamos exigiendo unas mejores condiciones de canal para poder establecer la comunicación. Esto se traduce en intervalos de cobertura más estrechos y, por extensión, en una mejor SNR promedio dentro de dicho intervalo, como veremos en el apartado siguiente. Por tanto, a menor tasa de transmisión tenemos mayor tiempo de cobertura.

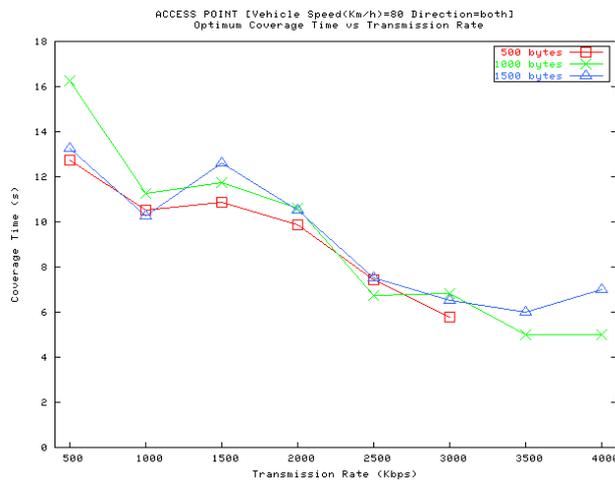


Figura 7: Intervalo de Cobertura (sg) vs Velocidad de Transmisión a 80 km/h

El efecto de la variación del tamaño de paquete no está tan claro; si bien parece que para tamaños de 500 y 1000 bytes el comportamiento es más o menos correlativo, presentando unos mejores resultados a 1000 bytes para ambas velocidades de vehículo, el comportamiento con paquetes de 1500 bytes es demasiado variable para poder emitir conclusiones definitivas.

Asimismo, tal y como cabía esperar, los tiempos de cobertura disminuyen al aumentar la velocidad del móvil, efecto lógico, ya que al aumentar la velocidad, tarda menos tiempo en atravesar la zona de cobertura.

4.2 Efecto sobre el throughput

Para estudiar el throughput hemos comparado el porcentaje de información recibida para las distintas tasas de transmisión y tamaños de paquete. En las figuras Figura 8 y Figura 9, puede apreciarse claramente cómo, a medida que aumenta la tasa de transmisión aumenta también el porcentaje de información recibida. Este hecho, que en principio puede parecer contradictorio, está perfectamente justificado.

Las gráficas muestran el porcentaje de información recibida, no en el total de la captura, sino dentro de la zona de cobertura y ésta es diferente en cada medida. Como ya hemos comentado en el apartado anterior, al aumentar la tasa de transmisión estamos exigiendo unas mejores condiciones de canal para poder establecer la comunicación. Esto se traduce en intervalos de cobertura más estrechos y, por extensión, en una mejor SNR promedio dentro de dicho intervalo. Los intervalos de cobertura quedan acotados en torno al AP y cuanto más cerca estemos del mismo mayor será la SNR que, por otro lado, disminuye muy rápidamente a medida que nos separamos del AP; así que cuanto más estrechos sean los intervalos mejores y más homogéneos serán los niveles de SNR.

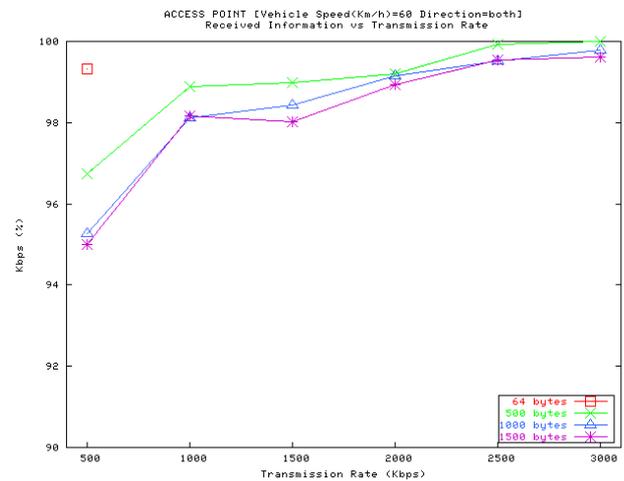


Figura 8: Información Recibida (%) vs Velocidad de Transmisión a 60 Km/h.

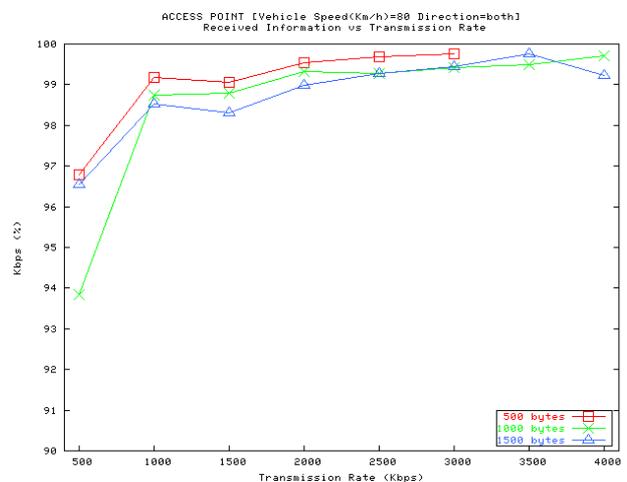


Figura 9: Información Recibida (%) vs Velocidad de Transmisión a 80 Km/h

En la Figura 10 se muestran dos capturas realizadas a 80 km/h con un tamaño de paquete de 1000 bytes y a tasas de transmisión de 500 y 3000 Kbps; se aprecia cómo se estrecha el intervalo de cobertura y cómo se acentúan las diferencias entre los paquetes recibidos dentro y fuera de la zona de cobertura aceptable. Asimismo podemos observar cómo los niveles de información perdida (número de paquetes perdidos) se mantienen más o menos similares en la zona central de las mesetas (las pérdidas se concentran en los bordes de las mesetas de la Figura 10a), lo que apoya el hecho de que porcentualmente la cantidad de información recibida aumente.

En cuanto al modo en que afecta la variación del tamaño de paquete, se aprecia con claridad cómo, para una misma tasa de transmisión, disminuye el porcentaje de información recibida a medida que aumentamos el tamaño de paquete. Es perfectamente lógico, pues cuanto mayor sea un paquete mayor es la probabilidad de pérdida al transmitirlo.

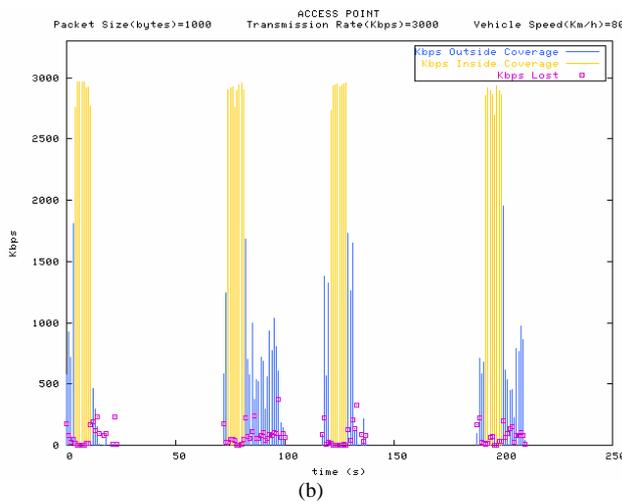
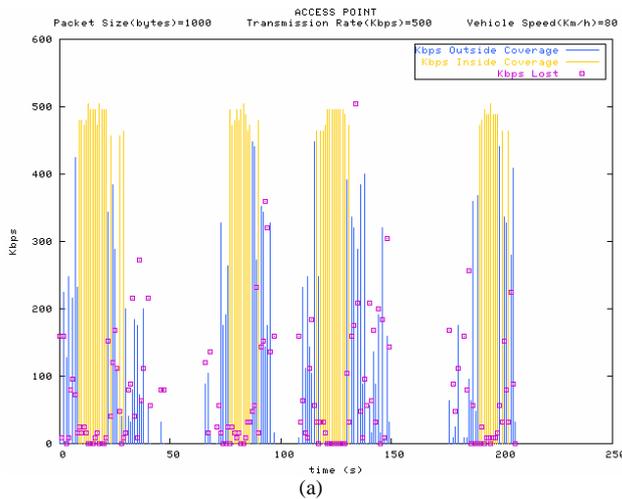


Figura 10: Estrechamiento de las zonas de cobertura con el aumento de la tasa de transmisión a) 500Kbps b) 3000Kbps

Finalmente, en la Tabla 1 vemos el promedio de los niveles de throughput que hemos alcanzado dentro de las mesetas, para cada velocidad del vehículo, tasa de transferencia y tamaño de paquete. Tanto a 60km/h como a 80km/h, y para todos los tamaños de paquete, coincide que obtenemos los mejores resultados para una tasa de transferencia de 2Mbps.

5 Conclusiones

En este trabajo hemos comprobado en qué modo se ve afectado el *throughput* por la tasa de transmisión y por el tamaño de paquete, constatando cómo el aumento de las pérdidas dentro del área de *cobertura aceptable* es directamente proporcional al tamaño de paquete e inversamente proporcional a la tasa de transmisión.

Asimismo hemos podido ver cómo los tiempos de cobertura disminuyen con el aumento de la tasa de transmisión, y aunque presentan un comportamiento más heterogéneo frente a las variaciones del tamaño de paquete, parece intuirse que el empleo de tamaños grandes ofrece mejores resultados.

En ambos casos, tanto el *throughput* como el tiempo de cobertura medidos, son coherentes con los resultados obtenidos en estudios previos mediante el uso de emuladores [6].

Hemos mostrado como los tiempos de cobertura son lo suficientemente largos como para permitir al cliente asociarse a un AP y transmitir una importante cantidad de paquetes. Por otro lado las limitaciones son patentes, pero siempre hay que tener en cuenta qué tipo de servicio estamos interesados en implementar y a qué coste. Esto nos lleva a afirmar que, en determinadas circunstancias la posibilidad de implementar servicios móviles bajo 802.11b podría ser viable. Si estamos buscando implementar servicios de bajo/medio peso en transmisión, como pueden ser servicios de información específica como por ejemplo sobre el estado de las carreteras (información vial, obras, desvíos alternativos, detección temprana de accidentes, ...), información turística local (mapas, rutas, hoteles, restaurantes, ...), etc., quizás 802.11b podría cubrir las expectativas necesarias. Incluso si consideramos aplicaciones de mayor peso, como la descarga de archivos multimedia, y teniendo en mente la estructura de una

60 Km/h										
Vtx	TAMAÑOS DE PAQUETE									
	500			1000			1500			
	ambos	norte-sur	sur-norte	ambos	norte-sur	sur-norte	ambos	norte-sur	sur-norte	
500	9,04	10,69	7,39	8,85	9,07	8,62	8,19	8,95	7,43	
1000	14,09	15,03	13,14	14,72	15,63	13,82	12,87	14,89	11,26	
1500	14,56	18,49	10,64	19,85	20,98	18,72	20,03	21,77	18,30	
2000	21,62	24,90	18,35	23,11	25,78	20,44	24,01	26,01	21,36	
2500	17,21	17,24	14,64	18,15	19,93	20,90	14,68	15,91	12,22	
3000	16,28	17,73	14,84	17,72	17,71	17,73	22,40	16,82	22,72	
3500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

80 Km/h										
Vtx	TAMAÑOS DE PAQUETE									
	500			1000			1500			
	ambos	norte-sur	sur-norte	ambos	norte-sur	sur-norte	ambos	norte-sur	sur-norte	
500	5,99	6,11	5,88	7,31	8,14	6,44	6,36	6,72	6,00	
1000	10,08	10,56	9,70	11,03	11,27	10,67	10,05	10,78	9,22	
1500	15,66	16,92	14,30	16,92	18,38	15,40	17,80	20,52	15,07	
2000	19,26	21,07	17,37	20,61	23,03	18,05	20,48	24,13	16,98	
2500	17,71	19,68	15,34	16,15	17,59	14,34	18,08	18,99	16,31	
3000	16,59	16,85	15,72	19,88	19,51	20,58	19,11	18,38	20,58	
3500	-	-	-	17,15	17,15	-	19,80	19,80	-	
4000	-	-	-	18,95	18,95	-	25,06	25,06	-	

Tabla 1. Mbits/meseta promedio obtenidos, en ambas velocidades de vehículo, para cada tasa de transmisión y tamaño de paquete

red de infostations (en la que, como ya hemos explicado, podemos predecir el movimiento de la estación), el uso de hardware 802.11b sería viable, siempre que, por encima, esa estructura de red tuviera los mecanismos apropiados (arquitectura y protocolos) que se encarguen del control y correcta distribución de los datos.

Los resultados expuestos en la Tabla 1 nos permiten ser optimistas sobre las posibilidades de implementación de 802.11b en aplicaciones reales. Si considerásemos, por ejemplo, un servicio de descarga de audio en formato MP3 (música para escuchar en el reproductor del vehículo o una descripción narrada del paraje natural-histórico-artístico que estemos atravesando), teniendo en cuenta que MP3 viene a tener un ratio aproximado de 1 minuto de reproducción por Mbyte de datos, podemos descargarnos en torno a unos 2,5 minutos de audio, lo cual nos permite además espaciar bastante el posicionamiento de las infostations. A 80km/h, bastaría tener una infostation cada 3,5 km para permitir una reproducción continua, sin retardos.

Como líneas futuras de trabajo será de interés revisar lo que ocurre en el otro sentido de la comunicación, esto es, haciendo que el AP funcione como fuente y la estación móvil como sumidero. Estudiar el funcionamiento de la red en modo Adhoc también podrá dar información interesante al eliminar el proceso de asociación con el AP. Finalmente, el efecto de las peculiaridades del canal sobre el protocolo de transporte TCP y sobre aplicaciones reales podrá permitir estudiar las necesidades de conversión de protocolos mediante proxys en una red de infostations sobre 802.11b.

Referencias

[1] IEEE. "IEEE 802.11 WLAN Working Group"

[2] Lee W. McKnight, J. Howison and S. Bradner. "Wireless Grids: Distributed Resource Sharing by Mobile, Nomadic and Fixed Devices". IEEE Internet Computing, Jul./Aug. 2004.

[3] A. Vasani y A. Udaya Shankar. "An Empirical Characterization of Instantaneous Throughput in 802.11b WLANs", Under Submission.

Christian Hoene, André Günther, Adam Wolisz. "Measuring the Impact of Slow User Motion on Packet Loss and Delay over IEEE 802.11b Wireless Links". 28th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks, Bonn/Königswinter, October 2003.

[4] A. Mishra, M. Shin, W. Arbaugh. "An Empirical Analysis of the IEEE 802.11 MAC Layer Handoff Process", ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol. 33, Issue 2, April 2003.

[5] E. Welsh, P. Murphy, J. Patrick Frantz. "A Mobile Testbed for GPS-Based ITS/IVC and Ad Hoc Routing Experimentation", International

Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), Vol. 2, Pg. 796-800, Honolulu, October 2002.

[6] C. Steger, P. Radosavljevic and J. Patrick Frantz. "Performance of IEEE 802.11b Wireless LAN in an Emulated Mobile Channel", IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), Jeju, Korea, April 2003.

[7] Keith Biesecker, "Broadband Wireless, Integrated Services And Their Application To Intelligent Transportation Systems", Technical Report, Center for Telecommunications and Advanced Technology, McLean, Virginia. Junio 2000.

[8] Atheros. "Atheros Chipsets Used in Mercedes-Benz Future Technology Demonstration", <http://www.atheros.com/news/mercedesdemo.html>

[9] Wixos, "Red de HotSpots en las líneas de Metro y Bus de París", <http://www.telcite.fr/nwifi3.htm>

[10] R. H. Frenkiel and T. Imielinski, "Infostations: The Joy of 'Many-Time, Many-Where' Communications". Tech. Rep. TR-119, Wireless Information Networks Laboratory (WINLAB), Rutgers State University of New Jersey, Apr. 1996.

[11] Ana Lúcia Iacono and Christopher Rose. "Infostations: New Perspectives on Wireless Data Networks", Proceedings of NJIT Symposium on Next Generation Wireless Networks, Newark, NJ, May 2000.

[12] <http://www.astm.org/>, "E2213-03 Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange Between Roadside and Vehicle Systems", ASTM, Apr. 2003.

[13] C. Frank, W. Olfelder, D. Jiang, G. Matyilis, P. Pepper. "Dynamic Software Architectures for a Sometimes Somewhere Telematics Concept". Technische Universität Berlin y Daimler Chrysler RTNA, TR No.2003-11, Nov. 2003.

[14] Focus Projects. "Infostations for Emergency Applications". <http://www.winlab.rutgers.edu/pub/docs/focus>

[15] Redhat RPMs con HostAP. http://www.cat.pdx.edu/~baera/redhat_hostap/

[16] Driver hostAP para tarjetas con chipset Prism de Intersil. <http://hostap.epitest.fi/>