
**EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO DEL PROTOCOLO MAC BASADO
EN CDMA PARA REDES 802.11**

Aldo Méndez, Marco Panduro y Raúl Aquino

RESUMEN

La popularidad de las redes inalámbricas 802.11 se basa en gran medida en el control de acceso al medio. Sin embargo, los retos que enfrenta esta tecnología en el acceso al medio son la interferencia y las colisiones provocadas por los usuarios dentro de la misma zona de cobertura, lo que resulta en un bajo rendimiento, a pesar de que se transmite con una tasa alta de transmisión, o en tener también un rendimiento bajo en el canal cuando se tienen pocos usuarios transmitiendo. Para resolver esta problemática se propone en este trabajo un protocolo que permite manejar dinámicamente las tasas de transmisión,

logrando maximizar la cantidad de información transmitida con éxito (caudal eficaz). Se proponen dos esquemas; el primero toma en cuenta lo que sucede en el canal para aumentar o disminuir la tasa de transmisión y el segundo maneja una combinación óptima de tasas de transmisión. Los esquemas propuestos son validados mediante simulación y se demuestra que el protocolo propuesto con los dos esquemas puede obtener la adaptabilidad del tráfico en la red comparado con el mecanismo de acceso al medio tradicional con tasa fija.

Introducción

Las tecnologías inalámbricas han sido aceptadas cada vez más por la sociedad debido a la facilidad de movilidad que ofrecen a los usuarios. Otro factor que ha influido

en el éxito de estas tecnologías es el abaratamiento de las computadoras portátiles y asistentes digitales personales (PDA, de *Personal Digital Assistant*), lo cual ha permitido que cada vez más personas tengan acceso a dichos dispositivos.

Por consiguiente, los requerimientos del servicio se vuelven cada vez más necesarios en oficinas, escuelas, hoteles, aeropuertos y demás lugares públicos.

La tecnología inalámbrica más popular es la IEEE

802.11 o mejor conocida como WiFi (de *Wireless Fidelity*). Una red básica 802.11 consiste en un grupo de nodos que están equipados con transmisores y receptores inalámbricos. Usualmente, cada nodo tiene la posibi-

PALABRAS CLAVE / Caudal Eficaz / Control de Acceso al Medio / Red 802.11 / Tasa de Transmisión /

Recibido: 01/02/2008. Modificado: 31/10/2008. Aceptado: 04/11/2008.

Aldo Méndez. Licenciado en Instrumentación Electrónica, Universidad Veracruzana, Veracruz, México. M. en C. en Ingeniería Electrónica, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), Morelos, México. Doctor en Ciencias en Electrónica y Telecomunicaciones, Centro de Investigación Científica y de

Educación Superior de Enseñanza (CICESE) Baja California, México. Profesor-Investigador, Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México. Dirección: Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa-Rodhe. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Carretera Reynosa-San Fernando cruce con canal Rodhe, Reynosa, Tamaulipas,

CP 88779, México. e-mail: al-mendez@uat.edu.mx

Marco Panduro. Ingeniero en Electrónica, Instituto Tecnológico de Culiacán, Sinaloa, México. Maestro y Doctor en Ciencias en Electrónica y Telecomunicaciones, CICESE, México. Profesor-Investigador, UAT, México. e-mail: mamen-doza@uat.edu.mx

Raúl Aquino. Ingeniero Electricista, Universidad de Colima (UCOL), Colima, México. M. en C. en Electrónica y Telecomunicaciones, CICESE, México. Doctor en Cómputo Móvil, Universidad de Sheffield, Inglaterra. Profesor-Investigador, UCOL, México. e-mail: aqui-nor@ucol.mx

SUMMARY

The popularity of 802.11 wireless networks is based on the access control of the wireless medium. The greatest challenges this technology faces, however, are interference and collisions caused by users sharing the same coverage area. These two factors can result in a low throughput, even though the signal is transmitted at a high data transmission rate, or in low channel capacity when few users are transmitting. To solve these weaknesses, this work proposes a protocol that handles transmission rates dynamically to maximize the transmission success rate.

Two schemes are proposed to address low throughput and low channel capacity. The first scheme dynamically monitors the channel in real time and increases or diminishes the transmission rate accordingly, while the second administers an optimal combination of transmission rates to minimize interference and collisions. Simulations show that the protocol improves traffic transmission in the network, as compared with fixed rated mechanisms used to access the wireless medium.

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO PROTOCOLO MAC BASEADOS EM CDMA PARA REDES 802.11

RESUMO

A popularidade das redes sem fio 802.11 se baseia em grande medida no controle de acesso ao meio. No entanto, os desafios que enfrenta esta tecnologia no acesso ao meio são a interferência e as colisões provocadas pelos usuários dentro da mesma zona de cobertura, o que resulta em um baixo rendimento, apesar de que se transmite com uma taxa alta de transmissão, ou em ter também um rendimento baixo no canal quando se tem poucos usuários transmitindo. Para resolver esta problemática se propõe neste trabalho um protocolo que permite manejar dinamicamente

as taxas de transmissão, logrando maximizar a quantidade de informação transmitida com êxito (caudal eficaz). Propõem-se dois esquemas; o primeiro leva em conta o que sucede no canal para aumentar ou diminuir a taxa de transmissão e o segundo maneja uma combinação ótima de taxas de transmissão. Os esquemas propostos são validados mediante simulação e se demonstra que o protocolo proposto com os dois esquemas pode obter a adaptabilidade do tráfico na rede comparado com o mecanismo de acesso ao meio tradicional com taxa fixa.

lidad de comunicarse con los otros nodos cuando todos ellos están esparcidos a lo largo de una zona geográfica. Sin embargo, los nodos pueden propagarse a través de regiones geográficas más extensas de la que la señal de comunicación puede alcanzar. En este caso, los nodos pueden comunicarse a través de varios saltos, pero existe solo un medio que es compartido por todos los nodos que están en el mismo rango de comunicación y el ancho de banda de radio frecuencia es limitado. Más aún, las colisiones son inevitables debido al hecho que el tráfico entrante es aleatorio y existe un tiempo de propagación no nulo entre transmisores y receptores. Por lo tanto, se utilizan esquemas de Control de Acceso al Medio (MAC, de *Medium Access Control*) para coordinar el acceso al canal de la red (Jurdak *et al.*, 2004; Kumar *et al.*, 2006).

Debido a que no existe un control centralizado para asignar tanto las frecuencias

específicas utilizadas en las comunicaciones como el periodo mínimo de tiempo para transmitir (ranura de tiempo) o los códigos a diferentes nodos que están totalmente distribuidos, los nodos tienen que contener ellos mismos por el acceso al canal de comunicación. Por consiguiente, los protocolos de control de acceso al medio juegan un papel importante en el desempeño de la red 802.11, donde un protocolo de control de acceso al medio va a definir un conjunto de normas que regule la comunicación y determinar cómo cada nodo puede compartir de una manera eficiente el recurso limitado de ancho de banda, donde el ancho de banda es el rango de frecuencias en el que se concentra la mayor parte de la potencia de la señal. Una alternativa para la red

802.11 es el protocolo de Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Anulación de Colisiones (AMDP/AC), en el cual cada nodo antes de transmitir anuncia opcionalmente su intención de hacerlo, para evitar que dos o más nodos envíen simultáneamente sus paquetes de datos y como resultado de ello tenga lugar una colisión.

Por otra parte, la tenden-

cia de las redes 802.11 es de usar sistemas adaptativos para ajustar los parámetros de transmisión, donde el objetivo es maximizar el caudal eficaz, siendo éste definido como la cantidad de información que es transmitida con éxito. En esta misma línea se plantea la posibilidad de introducir CDMA (de *Code Division Multiple Access*) para poder obtener esta adaptabilidad, donde CDMA permite que un grupo de nodos compartan un mismo canal y ancho de banda al mismo tiempo (Oh y Wasserman, 1999). Además, los nodos se pueden distinguir uno de otro, porque cada uno de ellos debe usar un código distinto (señal distintiva). El rendimiento de CDMA en una

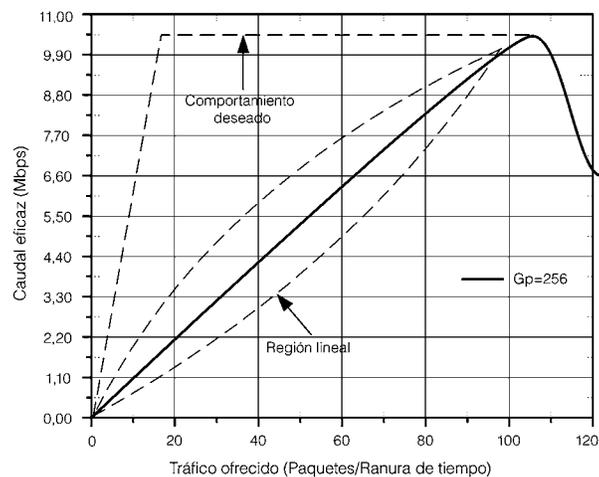


Figura 1. Comportamiento deseado para una red 802.11 inalámbrica basada en CDMA.

red 802.11 se muestra en la Figura 1. En esta figura se observa que el caudal eficaz empieza a aumentar hasta llegar a un máximo, a esta zona la llamaremos región lineal. En esta región lineal los nodos transmiten un número de bits en una unidad de tiempo (definido como tasa) de manera constante y el comportamiento del caudal eficaz, en la región lineal, se da debido a que no hay más información que enviar y no debido a errores por la energía que tiende a interferir con la recepción de las señales deseadas que producen los nodos (llamada interferencia). Es posible decir que el rendimiento del sistema está limitado por la técnica de acceso usada en redes 802.11. Así mismo, esto lleva a que la respuesta del caudal eficaz en la región lineal indica que hay pocos nodos transmitiendo, por lo que es necesario aumentar la tasa o velocidad de transmisión, pero manteniendo constante la máxima cantidad de información que se puede transmitir. Al aumentar la tasa de transmisión hay mayor flujo de bits de datos, cuyo resultado será un potencial aumento en el caudal eficaz en la región lineal. Por lo tanto, es necesario proponer esquemas que nos permitan transmitir con diferentes tasas de transmisión para modificar esta situación y así tener un sistema adaptativo a las condiciones del tráfico como se ilustra en la Figura 1 (comportamiento deseado). Lo que se señala como comportamiento deseado en la Figura 1 no es producto de un proceso de simulación, sino solamente para ilustrar a lo que se quiere llegar.

Se han reportado investigaciones sobre técnicas de control de acceso al medio para redes 802.11 con tasas variables de transmisión. Djonin *et al.* (2004) presentan un protocolo de control de acceso al medio con tasa variable de transmisión que emplea la modificación del protocolo AMDP/AC. Recientemente han sido investigadas las téc-

nicas de transmisión adaptativas basadas en CDMA para el mejoramiento del rendimiento en redes 802.11 (Muqattash *et al.*, 2003; Fantacci *et al.*, 2004; Su *et al.*, 2006), pero estos esquemas solo manejan una y dos tasas de transmisión. Más aún, algunos trabajos tales como el de Fantacci *et al.* (2004) usan ciertos umbrales para obtener la adaptabilidad del tráfico en la red, y esto se logra si todos los nodos activos empiezan a transmitir información con una tasa fija y cuando el número de nodos aumenta llegando a un cierto umbral, entonces todos los nodos cambian su tasa fija de transmisión.

Por lo tanto, para poder mejorar el rendimiento de una red 802.11, en este trabajo se propone un protocolo MAC basado en CDMA con un esquema de tasa adaptativa de transmisión y, además, se emplea AMDP/AC como una fase para hacer la petición de acceso al medio. Se manejan dos esquemas (I y II) que servirán para lograr que la red sea adaptativa. El primer esquema (I) toma en cuenta lo que sucede en el medio, es decir, si el nodo transmite continuamente con éxito entonces aumenta su tasa de transmisión y la disminuye en caso de que se presente una colisión. El segundo esquema (II) controla la tasa de transmisión de acuerdo al número de nodos activos y a la interferencia que se produce entre los nodos, lo cual se obtiene mediante una búsqueda exhaustiva de las tasas de transmisión.

A continuación se presentan los principios básicos de CDMA que son utilizados en el protocolo propuesto; a continuación se muestra la descripción del protocolo propuesto basado en CDMA, tomando en cuenta AMDP/AC como una fase de petición de acceso al medio. Finalmente, se presentan los resultados de la simulación y el análisis numérico del protocolo propuesto.

Principios de CDMA

CDMA usa una tecnología conocida como espectro ensanchado. En esta tecnología la información se extiende sobre un ancho de banda mucho mayor que el original, conteniendo una señal distintiva llamada código. Para realizar una comunicación con CDMA, la señal de datos es ensanchada, alcanzando una duración de pulso T_b . Esto conlleva a que el ensanchamiento implica otorgar un código a la señal generada por un nodo, donde a los bits del código se le suele denotar por chips y cuya duración es indicada por T_c . Posteriormente la señal ensanchada es transmitida junto con el resto de las señales generadas por otros nodos, usando el mismo ancho de banda. Además, se debe cumplir que $T_c < T_b$ y por lo tanto el ancho de banda de la señal a transmitir se incrementa en un factor llamado ganancia de procesado (G_p). Por otra parte, cuando las señales se reciben, éstas se separan haciendo uso de los códigos distintivos.

Tomando en cuenta lo anterior, se analiza a continuación el efecto de cada uno de estos parámetros y la manera en que se pueden variar para aumentar o disminuir la tasa de transmisión.

En CDMA el ancho de banda (B) es constante,

$$B = \frac{1}{T_c} \quad (1)$$

donde T_c : duración de pulso de la señal ensanchada (tiempo de chip). Entonces, si la Ec.1 es multiplicada y dividida por la duración de pulso de la señal de datos (T_b), se obtiene

$$B = \frac{1}{T_c} = \frac{T_b}{T_c} \frac{1}{T_b} \rightarrow \text{constante} \quad (2)$$

El ancho de banda debe ser constante y se constituye de dos términos: T_b/T_c que es la ganancia de procesado (G_p) y $1/T_b$ es la tasa de transmisión (r) en bits por segundo (bps). Por lo tanto, el ancho de banda puede ser expresado

en términos de la ganancia de procesado y la tasa de transmisión, tal como se expresa en la Ec. 3.

$$B = \frac{1}{T_c} = \frac{T_b}{T_c} \frac{1}{T_b} = G_p \times r \rightarrow \text{constante} \quad (3)$$

Si la tasa de transmisión es fija se tendrá un cierto nivel de protección contra la interferencia. Si el tráfico en el canal es bajo esto se debe a que hay menos nodos adyacentes transmitiendo simultáneamente y el nivel de interferencia también será bajo. Por consiguiente, una ganancia de procesado alta no será necesaria. En tales circunstancias, se puede reducir la ganancia de procesado e incrementar la tasa de transmisión en la misma proporción, ya que se debe mantener el ancho de banda constante. En caso de que aumente el número de nodos, entonces se debe disminuir la tasa de transmisión y aumentar la ganancia de procesado también en la misma cantidad. Por ello, usando CDMA y manejando la ganancia de procesado dinámicamente es posible transmitir a diferentes tasas, así como obtener la adaptabilidad del tráfico en la red.

Después de haber presentado el funcionamiento de CDMA, los conceptos definidos en esta sección serán utilizados en el protocolo propuesto, que se analiza a continuación.

Protocolo MAC Propuesto Basado en CDMA

En esta sección se propone un protocolo de control de acceso al medio en el cual se usa AMDP/AC como fase de acceso al canal. Además, CDMA es utilizado para que múltiples nodos transmitan con diferentes tasas de transmisión, logrando la adaptabilidad del tráfico en la red. A continuación se presenta el funcionamiento de AMDP/AC

En una red 802.11 la primera fase para iniciar la comunicación es el acceso al

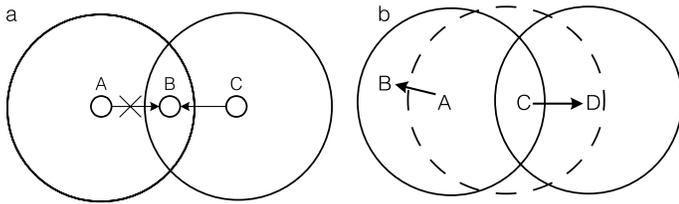


Figura 2. Problemas de protocolo AMDP/AC. a: terminal oculta, b: terminal expuesta.

medio, para lo cual es usado AMDP/AC. Por otra parte, el mecanismo de acceso básico para redes 802.11 falla al resolver el problema del nodo oculto (Kleinrock y Tobagi, 1975), que es producido cuando dos nodos que no se escuchan entre ellos mismos transmiten cantidades de datos con una duración de tiempo (llamados paquetes) a un receptor común. La Figura 2a ilustra este problema, donde el nodo A monitorea el canal buscando que esté desocupado mientras transmite un paquete a B. Pero el canal está ocupado en B por una comunicación con C. Debido a esto, el paquete de A no es recibido en B (sufrir una colisión). Otro problema es el nodo expuesto. Como se puede apreciar en la Figura 2b, el nodo A está transmitiendo al nodo B. Debido a que C está fuera del rango del nodo B y el nodo D está fuera del rango del nodo A, el nodo C puede ahora transmitir a D. Sin embargo, como el nodo C está en el rango del nodo A, el nodo C no puede transmitir hasta después de que escuche la transmisión del nodo A.

La solución a estos problemas es usar el proceso de *handshaking*. En este proceso, siempre que un paquete vaya a ser transmitido, el nodo transmisor envía primero un paquete de petición. Si el nodo receptor escucha el paquete usado como petición, éste responde con un paquete de autorización para transmitir. Después de este intercambio, el nodo receptor transmite un paquete de reconocimiento indicando que el paquete ha sido recibido intacto. Si el paquete de reconocimiento no es detecta-

do por el nodo transmisor, asume que hubo una colisión y el paquete es emitido de nuevo después de esperar un tiempo aleatorio. Los paquetes de petición y autorización incluyen la información acerca de cuánto tardará transmitir el siguiente paquete. Así, otros nodos cercanos al transmisor y el nodo oculto cercano al receptor no iniciarán una transmisión durante este periodo.

Con el procedimiento anterior se hace la fase de petición de acceso al medio y de esta manera poder transmitir los paquetes de información, pero solamente un nodo va a poder transmitir y con una tasa fija, por lo cual a AMDP/AC se le agregará el entorno CDMA para que de este modo puedan transmitir simultáneamente múltiples nodos y con distintas tasas de transmisión. Por ello, pasando la fase de petición de acceso al medio sigue ahora la etapa para que puedan transmitir múltiples nodos. Esto se logra usando CDMA y es llevado a cabo como sigue: un nodo envía un paquete de petición para transmitir a todos los nodos adyacentes en un código común. El nodo receptor envía entonces un paquete de autorización y comienza la transmisión en un código distintivo, en el cual el nodo receptor va a estar monitoreando este código. En este proceso de *handshaking* existen fallas debido a la congestión de la red. A medida que aparece la falla en el proceso de *handshaking*, el nodo pasa a un estado de retransmisión. Esta falla es debida a las colisiones que se presentan en el proceso o a la interferencia causada por los nodos activos que están

transmitiendo a otros. Hay que mencionar que en la fase de transmisión las colisiones se presentan porque dos o más nodos escogen el mismo código para transmitir.

Tomando en cuenta las fallas que se presentan en la transmisión, se puede usar dos esquemas (I y II) para manejar tasas dinámicas y obtener así un sistema adaptativo a las condiciones del tráfico. Estos dos esquemas se presentan enseguida.

Esquema I. En este primer esquema los nodos monitorean el medio de acceso para saber si hubo o no colisión en la petición y así poder determinar con qué tasa deben transmitir. Esto se obtiene de la siguiente manera; inicialmente todos los nodos transmiten con la tasa más alta y por consecuencia la ganancia de procesamiento será la más baja, manteniendo siempre el ancho de banda constante. En caso de que haya una falla en el *handshaking* debido a la colisión provocada por los nodos, esto indica que hay demasiados nodos intentando transmitir (aumento del tráfico en el canal), y por consiguiente se debe aumentar la ganancia de procesamiento al doble para aquellos nodos que intervinieron en la colisión y disminuir con el mismo factor la tasa de transmisión. Por otra parte, cuando el nodo transmite exitosamente varias veces, se deduce que hay pocos nodos transmitiendo (bajo tráfico en el canal), en cuyo caso se aumenta al doble la tasa de transmisión y se disminuye en la misma proporción la ganancia de procesamiento. Con este esquema es posible que la red 802.11 pueda ser adaptable a las condiciones del tráfico. Esto es probado mediante una simulación en el siguiente apartado.

Esquema II. A diferencia del esquema I en donde el nodo aumenta o disminuye su tasa de transmisión de acuerdo a lo que sucede en el canal, en el esquema II cuando un nodo

necesita transmitir se calcula el número de nodos adyacentes (s) que intentan transmitir en una ranura de tiempo dada. Conociendo este número es posible obtener la mejor combinación de tasas de transmisión para cada uno de los nodos y esto se logra mediante una búsqueda exhaustiva (Oh y Wasserman, 1999; Jafar y Goldsmith, 2003). Además, esta combinación de tasas debe maximizar el caudal eficaz que está en función del número de nodos que transmiten con tasas diferentes, así como de la relación de error de bit (REB), donde ésta indica cuántos bits con error se produjeron debido a la interferencia de los nodos. Si se considera que el sistema está limitado por las interferencias y el ruido es despreciado, entonces la REB usada para una tasa fija de transmisión es dada por

$$REB = Q \left(\left(\frac{s-1}{3G_p} \right)^{-1/2} \right) \quad (4)$$

donde s: número de nodos activos, G_p : ganancia de procesamiento, y $Q(x)$: función de error dada por

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-u^2/2} du$$

La Ec. 4 no es posible usarla en el presente caso porque se consideran seis tasas de transmisión (r_j) que son $r_1 = 32r_0$, $r_2 = 16r_0$, $r_3 = 8r_0$, $r_4 = 4r_0$, $r_5 = 2r_0$ y $r_6 = r_0$, donde r_0 es la tasa básica o mínima de transmisión. La ganancia de procesamiento para cada una de las tasas de transmisión es

$$G_{p_j} = \frac{B}{r_j}$$

donde B es el ancho de banda. El número de nodos que están transmitiendo con una tasa de r_j es n_j . Por lo tanto, la REB del nodo m con una tasa de transmisión r_j se calcula como (Ottosson y Sveson, 1998)

$$REB_{jm} = Q \left(\left(\frac{D_0}{2E_b} + \frac{1}{3G_{p_j}} \left(\sum_{i=1}^n \frac{r_i}{r_j} n_i - 1 \right) \right)^{-1/2} \right) \quad (5)$$

donde D_0 : densidad de ruido y E_b la energía de bit. Como previamente se mencionó que el ruido puede ser despreciado, el primer término de la suma de la Ec. 5 es cero.

Tomando en cuenta lo examinado arriba, los resultados de la evaluación de rendimiento del protocolo MAC propuesto son presentados a continuación.

Simulación y Resultados

El proceso de simulación fue llevado a cabo mediante un programa en Lenguaje C, en una computadora personal, el cual tomó en cuenta todos los aspectos mencionados previamente, así como las propiedades de CDMA. En la simulación es considerada una red 802.11 y se condujeron 80 ciclos de simulación. Dentro de cada ciclo fueron generadas 10000 tramas con una duración de 10ms y cada una de éstas está constituida por 16 ranuras de tiempo. Por otra parte, los nodos se localizan de manera aleatoria en un área cuadrada que mide 1500m por lado. Para generar tráfico de datos es usado el modelo presentado en (Choi *et al.*, 2002), que sigue una distribución de Pareto. Las ganancias de procesamiento usadas son 256, 128, 64, 32, 16 y 8, y a través de la Ec. 3 se obtiene la tasa de transmisión para cada una de esas ganancias. Adicionalmente, todos los nodos transmiten con la misma potencia. Se utiliza una tasa de chip de 4,096Mcps (mega chips por segundo).

En la Figura 3 se muestra el resultado del rendimiento para el protocolo propuesto con el esquema I. Adicionalmente, se muestra el

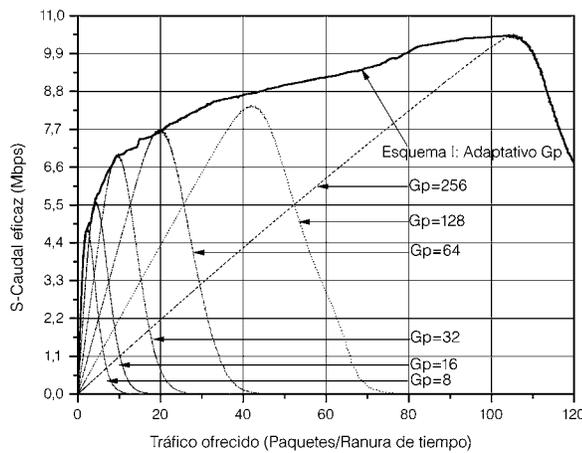


Figura 3. Comportamiento del caudal eficaz considerando el esquema con tasa adaptativa de transmisión (esquema I).

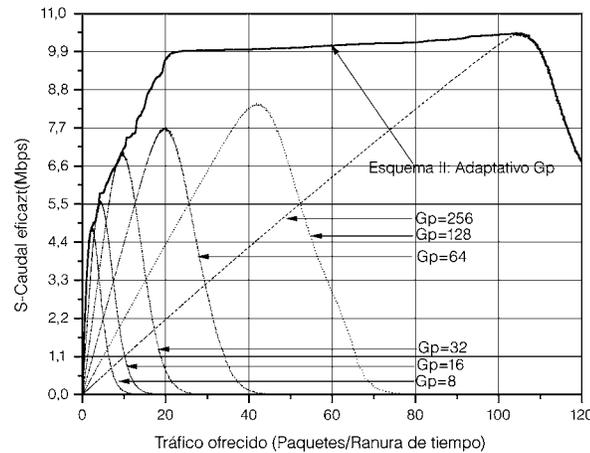


Figura 4. Comportamiento del caudal eficaz considerando el esquema con tasa adaptativa de transmisión (esquema II).

cionalmente, se muestra el rendimiento de la red cuando se manejan tasas fijas de transmisión. Para el caso de tasas fijas, entre mayor sea la ganancia de procesamiento se tiene un mayor caudal eficaz. Al disminuir la ganancia de procesamiento se aumenta la tasa de transmisión en la misma proporción, porque se debe mantener constante el ancho de banda (Ec. 3). Se pensaría que transmitiendo a mayores tasas se tendría un mayor caudal eficaz, pero eso no sucede porque lo que aumenta es la interferencia, provocando que la probabilidad de recibir correctamente un paquete disminuya (Pursley, 1977) y por consecuencia una disminución en el número de bits con éxito (caudal eficaz). También disminuye el número de nodos que transmiten

tener problemas con la interferencia. Como cada nodo ajusta su tasa de transmisión de acuerdo a lo que sucede en el canal, esto lleva a que se tenga un uso eficiente del canal de comunicación y del ancho de banda. En el caso donde $G_p = 8$ se obtiene un máximo caudal eficaz de 4,8Mbps, a pesar de que haya nodos intentando transmitir, y cuando manejamos dinámicamente las tasas de transmisión sucede que el caudal eficaz puede aumentar hasta 10Mbps. Esto es debido a que con la $G_p = 8$ se disminuyó considerablemente la protección ante interferencias y con el esquema I se pudo adecuar la tasas de transmisión con respecto a lo que sucedía en el canal. Esto pasa con cada una de las ganancias de procesamiento,

cuando se reduce la ganancia de procesamiento. Si aplicamos el protocolo propuesto usando el esquema I entonces los nodos decidirán cuándo aumentar o disminuir la tasa de transmisión en función del éxito o falla en el proceso del *handshaking*. Entonces, un sistema adaptativo como el aplicado provoca que puedan transmitir más nodos simultáneamente con distintas tasas y de esto se obtenga como resultado un aumento en el caudal eficaz. Además, puede suceder que el número de nodos no se incremente pero en consecuencia haya un ajuste dinámico de las tasas de transmisión, provocando también un aumento en el caudal eficaz sin

excepto con $G_p = 256$, con la cual se tiene el mismo máximo caudal eficaz con respecto al esquema I, pero el caudal eficaz para el esquema I tiene un incremento más rápido antes de llegar al máximo a pesar de que pueden manejar la misma cantidad de nodos. Este incremento es posible, como se ha mencionado previamente, porque aumenta la tasa de transmisión de manera dinámica. Por lo tanto, el esquema I mejora sustancialmente la red que emplea tasas fijas.

La Figura 4 ilustra la respuesta del esquema II. Se observa que el rendimiento mejora sustancialmente con respecto al esquema I y a las tasas fijas. Comparado con el esquema I, se aprecia que antes de llegar al máximo caudal eficaz se tiene un mayor rendimiento. Esta mejora se debe a que se hace una combinación óptima de las tasas de transmisión y, en cambio, el esquema I es solamente una estimación de lo que sucede en el canal. El esquema II es diferente a Fantacci *et al.* (2004) debido a que utiliza umbrales y no es posible maximizar el rendimiento. Por lo tanto, el protocolo MAC propuesto (esquemas I y II) es una alternativa para mejorar el rendimiento de redes 802.11 basadas en CDMA.

Conclusión

Se ha propuesto un protocolo de control de acceso al medio basado en CDMA y mediante un proceso de simulación ha mostrado que el presente esquema mejora el rendimiento comparado con tasas fijas. Se manejaron dos esquemas para lograr que la red 802.11 se adapte a las condiciones del tráfico. El protocolo propuesto con el esquema I tiene la ventaja que cuando el nodo desea transmitir no necesita ninguna información de los demás nodos para aumentar o disminuir su velocidad, pero tiene el inconveniente que debe hacer varias prue-

bas para determinar con cada cuántos éxitos debe aumentar su tasa de transmisión y cuántas colisiones para disminuirla. En cambio con el esquema II es necesaria una búsqueda exhaustiva para determinar cual es la combinación óptima de tasas de transmisión para lograr el máximo caudal eficaz, motivo por el cual este esquema es el que se lleva más tiempo de procesamiento, pero es más fiable. Estos dos esquemas se presentan como dos opciones para aplicarse a las redes 802.11 y las ventajas que presentan con respecto a tasas fijas justifican su posible adaptación, aunque la complejidad computacional de resolver rápidamente la búsqueda óptima de las tasas de transmisión llevaría a proponer algoritmos de optimización en tiempo real.

Por otra parte, en este trabajo los nodos emplean un control perfecto de potencia, por consiguiente se puede ampliar considerando que los nodos usan distintas potencias para la transmisión con un manejo de tráfico multimedia (voz, datos, vídeo). Ello hace necesario utilizar un control de potencia y esto llevaría a un ahorro de energía.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación fue llevado a cabo con el apoyo de fondos Mixtos-Tamaulipas con clave TAMPS-2007-C13-73936 y CONACYT con clave CB-2007-01-83674.

REFERENCIAS

Choi BD, Chung YH, Choi CS, Chung J (2002) Performance Evaluation of Mobile

Servicing Data Traffics in cdma2000. *IEICE Trans. Comm.* 83: 257-267.

Djonin DN, Karmokar K, Djonin DV, Bhargava VK (2004) Adaptive Rate Transmission in Ad-Hoc Wireless Networks. *IEICE Trans. Comm.* 85: 1385-1392.

Fantacci R, Ferri A, Tarchi D (2004) Medium Access Control Protocol for CDMA Ad-Hoc Networks. *Electr. Lett.* 40: 1131-1132.

Jafar SA, Goldsmith A (2003) Adaptive Multirate CDMA for Uplink Throughput Maximization. *IEEE Trans. Wireless Comm.* 2: 218-228.

Jurdak R, Lopes CV, Baldi P (2004) A Survey, Classification and Comparative Analysis of Medium Access Control Protocols for Ad-hoc Networks. *IEEE Comm. Surv. Tut. Mag.* 6: 2-16.

Kleinrock L, Tobagi FA (1975) Packet Switching in Radio Channels: Part II - the Hidden Terminal Problem in Carrier Sense Multiple Access and the Busy Tone Solution.

IEEE Trans. Comm. 23: 1417-1433.

Kumar S, Raghavan S, Deng VS (2006) Medium Access Control Protocols for Ad-Hoc Wireless Networks: A Survey. *Ad-Hoc Networks J.* 4:326-358.

Muqattash A, Krunkz M, Ryan WE (2003) Solving the Near-Far Problem in CDMA-Based Ad-Hoc Networks. *Ad-Hoc Networks J.* 1: 435-453.

Oh SJ, Wasserman KM (1999) Dynamic Spreading Gain Control in Multiservice CDMA Networks. *IEEE J. Sel. Areas Comm.* 17: 918-927.

Ottosson T, Svensson A (1998) On Schemes for Multirate Support in DS/CDMA. *J. Wireless Pers. Comm.* 6: 265-287.

Pursley MB (1977) Performance Evaluation for Phase-Coded Spread-Spectrum Multiple-Access Communications. Part I: System Analysis. *IEEE Trans. Comm.* 25: 795-799.

Su TS, Jeng WL, Hseih WS (2006) Enhancing the Performance of Ad-Hoc Wireless Using Code Division. *J. Internet Technol.* 7: 285-292.