

TÉCNICAS DE TRANSMISIÓN POR PAQUETES ALTERNATIVAS A S-ALOHA BASADAS EN CDMA PARA SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES

Luis G.Alonso Zárata, Jordi Pérez Romero, Ramón Agustí Comes, Oriol Sallent Roig
Grupo de Comunicaciones Radio. Dpto. de Teoría de la Señal y Comunicaciones
Universitat Politècnica de Catalunya, UPC
c) Jordi Girona, 1-3, Campus Nord, Edifici D4, Barcelona.-08034
e-mail: [luisg, jorperez, ramon, oriol]@tsc.upc.es
Teléfono: 93 401 71 95, Fax: 93 401 72 00

Resumen: En esta comunicación se presentan los protocolos de acceso aleatorio ISMA y DQRAP adaptados para sistemas de comunicaciones móviles por paquetes basados en la técnica DS/CDMA. El primero de ellos mejora la eficiencia de los sistemas puramente aleatorios como S-ALOHA gracias a la información que la estación base proporciona respecto del estado de ocupación de los diferentes recursos. A su vez, DQRAP basa su funcionamiento en dos colas lógicas destinadas, respectivamente, a la resolución de colisiones y a la transmisión, lo que permite un acceso más regulado al sistema. Ambos algoritmos son comparados con S-ALOHA, lo que muestra la mejora introducida.

1.- INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se enmarca dentro del estudio de protocolos de acceso al medio eficientes para la transmisión de paquetes en sistemas de comunicaciones móviles basados en la técnica de acceso DS-CDMA (*Direct Sequence-Code Division Multiple Access*) que se percibe como la estrategia a utilizar en los futuros sistemas de tercera generación y particularmente dentro de la propuesta UTRA de ETSI para el acceso radio en UMTS [1].

La creciente demanda registrada en los últimos años en lo que a servicios multimedia se refiere, particularmente en todo lo que envuelve al mundo de Internet, precisará de sistemas flexibles para integrar fuentes de tráfico de diferente naturaleza. Dentro de este contexto, y para el manejo de tráfico a ráfagas, las estrategias de conmutación de paquetes sobre canal común se presentan como más adecuadas frente a otras estrategias de transmisión por canal dedicado. En las primeras, los diferentes usuarios pueden compartir dicho canal común gracias a la multiplexación estadística originada entre las propias fuentes, sin requerir de una asignación previa de recursos. Por contra, en las estrategias de canal dedicado se precisa de un cierto tiempo inicial de reserva del canal, que en ocasiones es comparable al tiempo en que dicho canal va a ser utilizado posteriormente. Por otro lado, para una gestión adecuada de los recursos compartidos (códigos y niveles de potencia en el entorno CDMA), es necesario el uso de protocolos de acceso al medio que garanticen una utilización equitativa y eficiente de los mismos.

El principio básico de funcionamiento de S-ALOHA, que constituye uno de los protocolos más utilizados hasta el momento para la transmisión de paquetes por canal común, consiste únicamente en que, cuando un usuario dispone de un conjunto de paquetes para transmitir, selecciona al azar un código de entre los disponibles y transmite su información, repitiéndose este proceso para cada uno de los paquetes que se deben enviar. Un mecanismo muy similar, aunque con ligeras variantes, es el que se especifica en UTRA para la transmisión de paquetes a través del canal RACH. El problema que surge en este mecanismo al verse incrementada la carga ofrecida al sistema es un aumento en el número de colisiones en el proceso de selección anteriormente indicado, con la consiguiente pérdida de eficiencia en el aprovechamiento de los recursos del canal. Para solventar esta problemática han surgido nuevas estrategias que permiten aumentar de forma muy considerable el rendimiento del acceso radio aleatorio en modo paquete.

En particular, en esta comunicación nos planteamos el estudio de dos de estas técnicas de acceso. Son los protocolos denominados ISMA (*Inhibit Sense Multiple Access*) [2]-[4] y DQRAP (*Distributed Queueing*

Random Access Protocol) [5] ambos en sus propuestas de uso para el entorno CDMA. El primero de ellos permite que los usuarios que seleccionan un código correctamente puedan mantenerlo durante la transmisión del resto de paquetes de que consta su mensaje, gracias a la difusión que la estación base lleva a cabo del estado de dicho código como ocupado. Con este mecanismo se evita que el resto de usuarios puedan seleccionar el mismo código, lo que daría lugar a una colisión. Así pues, se reduce el grado de aleatoriedad en el acceso gracias a un canal de difusión en el que se indica el estado de los diferentes códigos involucrados. En el segundo protocolo se establecen unas mini-ranuras de acceso en las que los usuarios deben indicar que disponen de información lista para ser transmitida. Un algoritmo de contención de tipo árbol que funciona en paralelo con la transmisión de los datos y el uso de colas distribuidas permiten minimizar el número de colisiones en los intentos de acceso y eliminar las colisiones en la transmisión de datos, lo que mejora significativamente la eficiencia del sistema.

En base al marco de referencia anteriormente descrito, en esta comunicación se pretenden describir y analizar los protocolos ISMA/CDMA y DQRAP/CDMA como estrategias de transmisión por paquetes que mejoran significativamente el rendimiento de S-ALOHA en sistemas de acceso radio aleatorios.

2.- DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO ISMA/CDMA.

A continuación se presenta el funcionamiento del protocolo ISMA/CDMA adaptado a una estructura de tramas similar a la especificada en la propuesta UTRA. Se considera la existencia de un conjunto de K secuencias código que deben ser compartidas por una serie de usuarios registrados en el sistema. Temporalmente, cada código está subdividido en tramas de 10 ms compuestas por 8 ranuras de tiempo correspondientes, cada una de ellas, a dos períodos de control de potencia. Cada ranura se corresponde con la duración de una de las ranuras de acceso u *offsets* que se especifican en la propuesta UTRA para el canal de acceso aleatorio PRACH [1]. En cada trama, la estación base difunde el estado de ocupación de cada uno de los K códigos, de modo que cuando un usuario dispone de un conjunto de paquetes a transmitir, al inicio de una trama, selecciona un código de entre los disponibles e inicia la transmisión del primer paquete A (ver Figura 1) aplicando un control de potencia en lazo abierto. Durante el primer slot la estación base es capaz de detectar la existencia o no de colisión, con lo que durante la segunda ranura del enlace descendente correspondiente al código escogido puede informar sobre la correcta o incorrecta adquisición de dicho código. En caso de producirse colisión o simplemente si debido al nivel de interferencia existente la transmisión ha resultado infructuosa, el usuario o usuarios involucrados cesarán la transmisión del paquete y reintentarán el acceso con una cierta probabilidad en las siguientes tramas. En caso contrario, la estación base marcará el código como ocupado y el usuario lo conservará hasta finalizar la transmisión de sus paquetes. El proceso anteriormente descrito se presenta en la Figura 1.

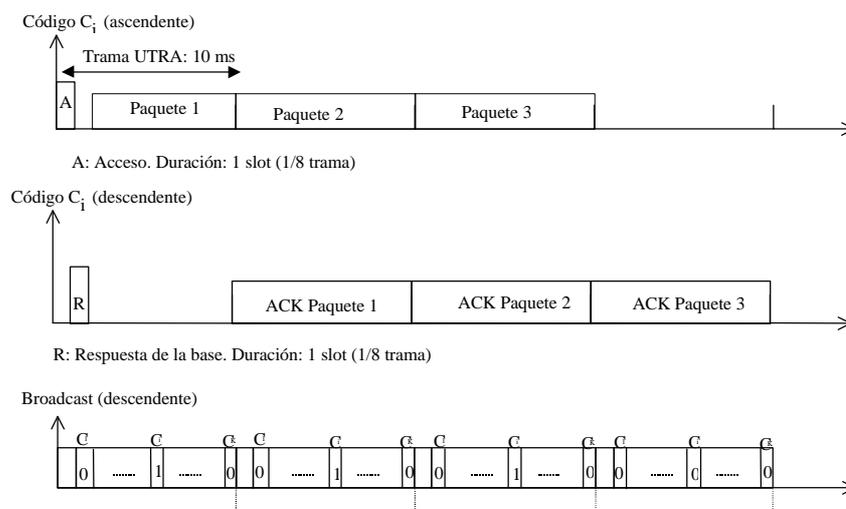


Figura 1. El protocolo ISMA/CDMA

De todos modos, aún disponiendo de un código asignado, cabe la posibilidad de que, debido al nivel de interferencia, haya paquetes que no sean correctamente recibidos. En este caso se utilizan mecanismos de retransmisión con probabilidades decrecientes según el número de transmisiones erróneas que ha sufrido un paquete. De igual forma, y con el fin de regular la interferencia total en un momento dado, se establece una probabilidad de acceder al sistema variable y linealmente decreciente en función del número de códigos ocupados en ese momento; así, por ejemplo, se impide el acceso de nuevos usuarios una vez ha sido superado un cierto umbral de ocupación dependiente de parámetros tales como la ganancia de procesamiento o la longitud de los paquetes (por ejemplo, para $G_p=64$ y $L=640$ bits este umbral estaría fijado en 16 códigos ocupados).

3.- DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO DQRAP/CDMA

DQRAP/CDMA es un protocolo de acceso al medio propuesto inicialmente en [6]. Se considera también un conjunto de K códigos, cada uno de los cuales dividido en unas ranuras de tiempo de 10 ms que a su vez se componen de dos partes: una primera parte de acceso consistente en tres mini-ranuras, y una segunda parte para la transmisión de datos. Todos los usuarios almacenan una copia de dos colas lógicas distribuidas y en cada una de las ranuras de tiempo deben ejecutar tres conjuntos de reglas establecidas por el algoritmo del protocolo. Son las llamadas, respectivamente, reglas de transmisión de peticiones (en inglés RTR, *Request Transmission Rules*), reglas de transmisión de datos (en inglés DTR, *Data Transmission Rules*) y las reglas de gestión de colas (QDR, *Queueing Discipline Rules*). Estas reglas, en esencia, generan el comportamiento descrito a continuación.

En primer lugar, cuando un terminal tiene datos para transmitir debe esperar a que se resuelvan todas las contiendas de acceso pendientes. Una vez ocurre esto, escoge al azar una de las mini-ranuras de acceso de uno de los códigos disponibles y transmite en ella una secuencia de petición. La elección del código usado para esta petición sigue un criterio predefinido, en el que los códigos tienen un cierto orden de prelación. En función de las peticiones realizadas por todos los usuarios en cada ranura de tiempo, la estación base notifica el resultado de lo ocurrido en cada una de las mini-ranuras con tres resultados posibles: vacío, éxito o colisión. En el caso de que la petición tenga éxito, el usuario se sitúa en la cola de transmisión (una de las dos colas distribuidas), en espera de que llegue su turno para acceder a un código y transmitir su información. Por el contrario, si la petición ha colisionado, todos los usuarios implicados entran en la cola de resolución de colisiones y solucionan la contienda siguiendo un algoritmo del tipo árbol [7] con realimentación. A medida que sus peticiones van teniendo éxito se sitúan en la cola de transmisión para ir transmitiendo sus datos de forma ordenada. Todos los usuarios almacenan una copia lógica de ambas colas (de ahí la denominación de colas distribuidas) y su posición en cada una de ellas. El mecanismo de gestión de las dos colas funciona en paralelo y permite conseguir que el protocolo alcance un rendimiento muy cercano al que tendría un sistema ideal $M/M/m$, con $m=K$.

DQRAP/CDMA es un protocolo de acceso libre cuando las cargas de tráfico son bajas, lo que minimiza el retardo de transmisión, y se va convirtiendo progresiva y automáticamente en un protocolo de reserva a medida que el tráfico aumenta, optimizando el caudal efectivo transmitido. Es crucial reseñar que, a diferencia de lo que ocurre con S-ALOHA, el protocolo mantiene un comportamiento estable para cualquiera que sea la carga ofrecida, con el único límite de la capacidad del canal.

Otra ventaja fundamental de este protocolo es el hecho de que podemos fijar el número máximo de transmisiones simultáneas, limitando el número de usuarios en cola a los que se dará servicio al mismo tiempo (número de códigos disponibles). De este modo podemos controlar la calidad del servicio que reciben los usuarios y mantener toda la demanda de ancho de banda sobrante en la cola de transmisión. También podemos utilizar criterios de gestión de las colas que den prioridad a alguna o algunas de las conexiones. Estas características lo hacen idóneo para su uso en sistemas de acceso que deban garantizar una cierta calidad de servicio a los usuarios, es decir, para los sistemas móviles de tercera generación.

La Figura 2 muestra un ejemplo de funcionamiento del protocolo cuando se hace uso de 3 códigos ($K=3$), que comparten 4 usuarios. En la parte inferior se muestran los valores de las variables de control del protocolo para cada usuario. TQ y RQ almacenan, respectivamente, el número de elementos en la cola de

transmisión y en la cola de peticiones y tienen por tanto el mismo valor para todos los usuarios. Sin embargo, pTQ y pRQ son específicos de cada usuario y almacenan la posición de cada uno en la cola correspondiente.

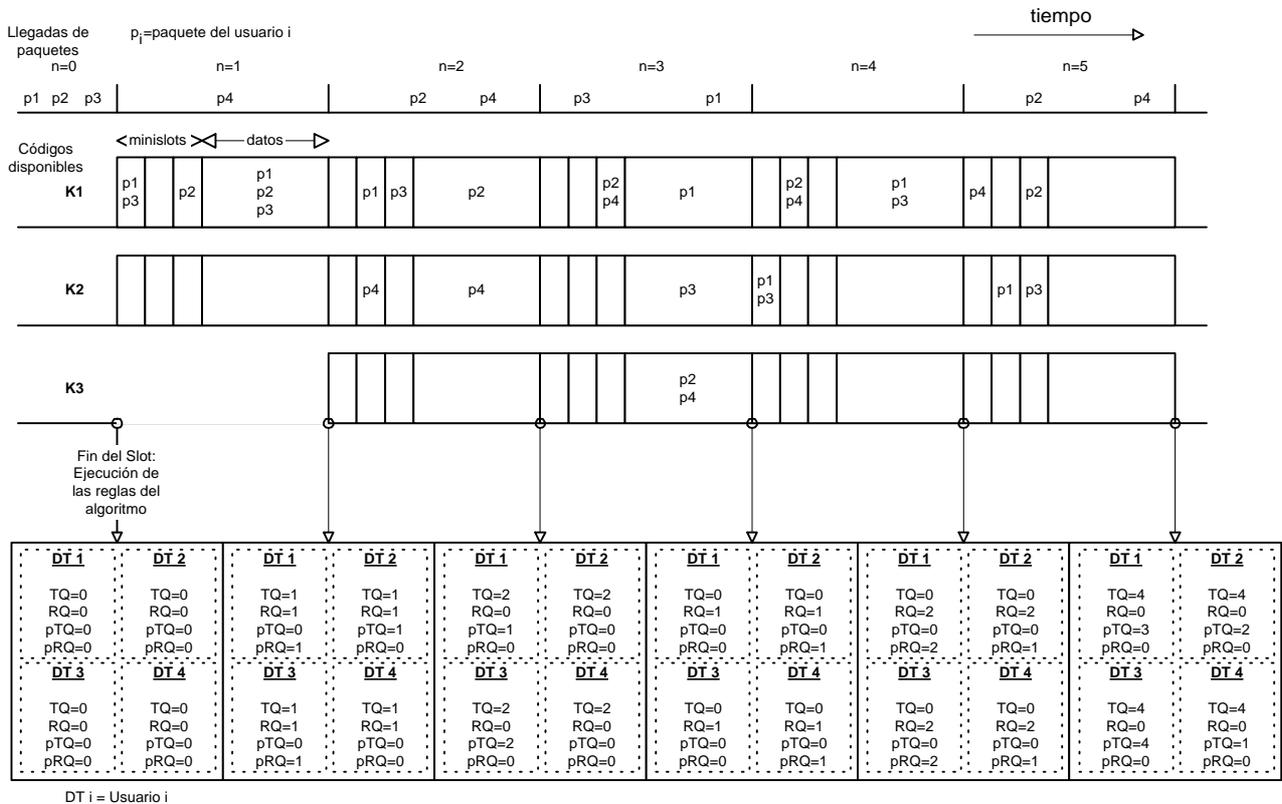


Figura 2. Ejemplo de funcionamiento de DQRAP/CDMA

En el ejemplo, todos los mensajes que generan los usuarios son de longitud 1 paquete y cada paquete puede ser transmitido en una sola ranura. En la ranura (slot) $n=0$ llegan tres mensajes al sistema. En $n=1$ todos envían una petición y también transmiten sus datos usando el primer código disponible (ya que el sistema está vacío). Sólo la petición de p_2 tiene éxito y p_2 entra en la cola de transmisión. Dado que las peticiones de p_1 y p_3 colisionan, éstas entran en la cola de resolución de colisiones. Sus paquetes de datos también colisionan. En esta ranura, llega un nuevo mensaje p_4 . En $n=2$, p_2 es transmitido usando el primer código. Los paquetes p_1 y p_3 resuelven su colisión y entran en la cola de transmisión (p_1 en la primera posición ya que usó una mini-ranura anterior en el orden preestablecido). Por otro lado, p_4 transmite su petición y sus datos usando el segundo código disponible. Como p_4 es el único paquete nuevo que ha llegado al sistema, su transmisión de datos tiene éxito y no necesita entrar en ninguna cola. Dos paquetes más llegan en esa ranura. En $n=3$, p_1 y p_3 son transmitidos usando respectivamente el primero y el segundo códigos. Las peticiones de los paquetes nuevos p_2 y p_4 colisionan y por tanto entran en la cola de resolución de peticiones. En $n=4$, p_2 y p_4 colisionan de nuevo y vuelven a entrar en esta cola. Las peticiones de p_1 y p_3 también colisionan y van a la misma cola. Finalmente, en $n=5$ todas las peticiones se resuelven satisfactoriamente, y por tanto entran en la cola de transmisión. El proceso seguiría indefinidamente.

4.- ANÁLISIS DE RENDIMIENTOS Y COMPARATIVA

Se han realizado análisis numéricos de los modelos teóricos propuestos para ambas estrategias de acceso así como simulaciones por ordenador en condiciones de trabajo similares. Las Figuras 3 y 4 muestran dos ejemplos representativos de resultados del retardo medio de los mensajes transmitidos, comparando los protocolos S-ALOHA/CDMA, ISMA/CDMA y DQRAP/CDMA. Para todos ellos se hace uso de un canal gaussiano con $K=16$ y $K=32$ códigos disponibles (receptores), y se tienen 100 usuarios que generan mensajes de longitud exponencial de media 6000 bits, transmitiéndose paquetes de longitud $L=640$ bits con una

ganancia de procesamiento $G_p=64$. En el caso del protocolo DQRAP/CDMA se ha utilizado un modelo de atenuación tipo Rayleigh para las mini-ranuras de acceso, suponiendo que sólo se realiza en ellas control de potencia en lazo abierto, igual que para la transmisión de los paquetes de acceso A en ISMA/CDMA.

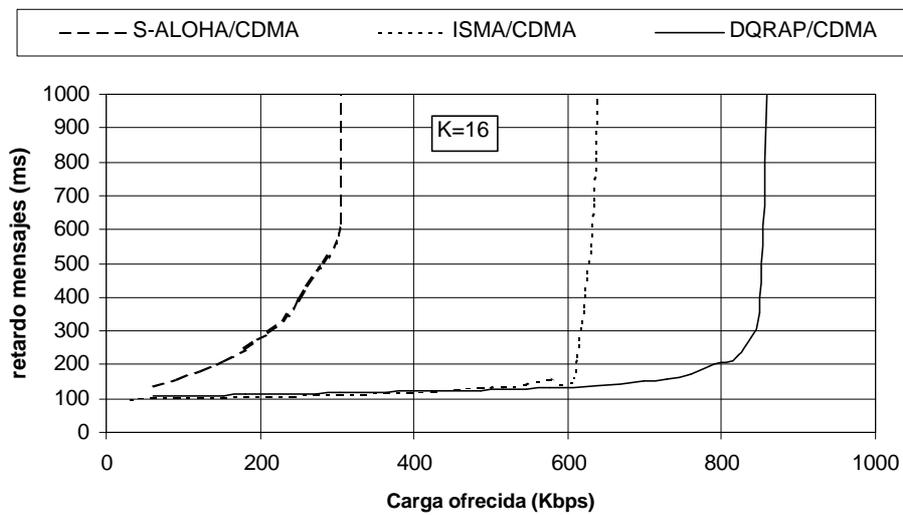


Figura 3. Comparativa de retardo de los protocolos para $K=16$

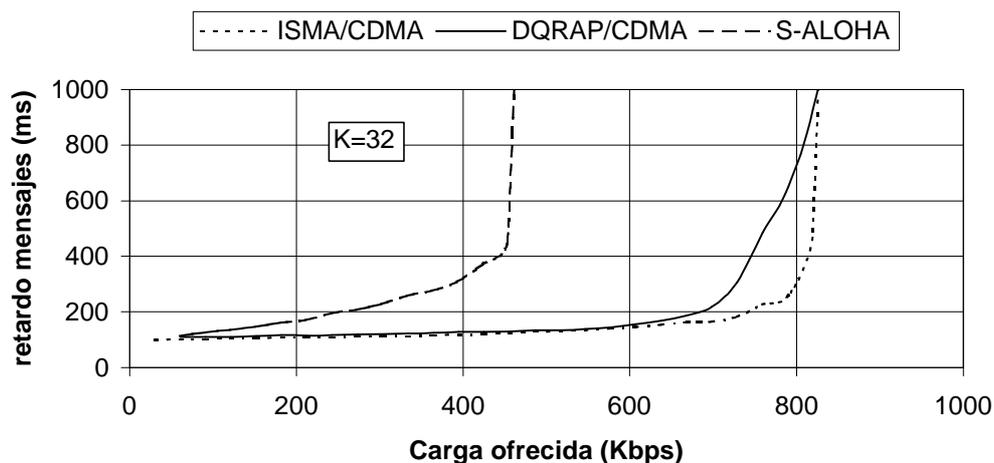


Figura 4. Comparativa de retardo de los protocolos para $K=32$

Se muestran resultados para dos valores diferentes del número de códigos K que permiten diferenciar las ventajas e inconvenientes de ambos protocolos. En primer lugar, la Figura 3 muestra la comparativa de retardo cuando se consideran $K=16$ códigos. Este valor se corresponde con el número de transmisiones simultáneas que permite maximizar el caudal efectivo de un sistema CDMA con los valores de ganancia de procesamiento y longitud de paquete considerados y haciendo uso de la hipótesis gaussiana para el modelado de las interferencias. Dicho caudal máximo, que puede tomarse como cota superior de las prestaciones de los tres protocolos, toma el valor de 915.2 Kbps. Se puede apreciar como los dos protocolos ISMA/CDMA y DQRAP/CDMA presentan prestaciones muy por encima de las de S-ALOHA, gracias al grado de centralización que introducen en su modo de operación, que permite a los usuarios estimar o conocer de antemano el estado del sistema.

El otro punto que debe ser destacado de la Figura 3 es el mejor comportamiento que presenta DQRAP/CDMA al ser comparado con ISMA/CDMA. De hecho, DQRAP/CDMA presenta valores de caudal

máximo bastante próximos a la cota teórica anteriormente citada ya que mantiene toda la interferencia en exceso en la cola de transmisión, aprovechando al máximo la capacidad del canal. El motivo que lleva a ISMA/CDMA a presentar un peor comportamiento bajo estas condiciones es el hecho de disponer de un número de códigos pequeño, que origina que el sistema no esté realmente limitado por interferencias sino por las colisiones en el acceso a los códigos (esto es, usuarios que seleccionan el mismo código). En [4] se muestra como el número mínimo de códigos para reducir el efecto de las colisiones se encuentra alrededor del doble del máximo caudal que puede esperarse para una cierta ganancia de procesamiento y longitud de paquete dadas. En particular, para el caso considerado, este número mínimo estaría alrededor de 30 códigos.

En la Figura 4, a su vez, se muestran los resultados para el caso de $K=32$ códigos. En esta situación, los dos protocolos presentan un comportamiento bastante similar y mucho mejor que S-ALOHA/CDMA. En ambos casos, el caudal se aproxima al óptimo citado. El hecho de incrementar el número de códigos en el sistema, por lo tanto, es especialmente beneficioso para ISMA/CDMA, puesto que se evita la limitación por colisiones en la selección de código, y no tanto para DQRAP/CDMA ya que la limitación de caudal efectivo viene únicamente dada por el nivel máximo de interferencias que puede tolerar el sistema.

En ambos ejemplos se muestra la significativa mejora en capacidad que introducen las técnicas analizadas respecto al protocolo S-ALOHA.

5.- CONCLUSIONES

Los prometedores resultados obtenidos indican que las técnicas propuestas pueden ser aplicadas en las futuras comunicaciones móviles como alternativa a S-ALOHA ofreciendo una mejora importante de la eficiencia en el uso de los recursos disponibles, especialmente para sistemas de transmisión por paquetes y con fuentes de tráfico que generen la información a ráfagas.

Referencias

- [1] Erik Dahlman, Per Beming, Jens Knutsson, Fredrik Ovesjö, Magnus Persson, Christiaan Roobol, "WCDMA- The Radio Interface for Future Mobile Multimedia Communications", IEEE Transactions On Vehicular Technology, Vol 47, nº 4, November 1998, pp 1105-1118
- [2] Kenneth J. Zdunek, Donald R. Ucci, Joseph L. LoCicero, "Packet Radio Performance of Inhibit Sense Multiple Access with Capture", IEEE Trans. On Communications, vol 45, nº2, February 1997, pp 164-167
- [3] A. Chockalingam, Weiping Xu, Laurence B. Milstein, "Performance of a Multi-Channel Packet CDMA Protocol in a Fading Environment", VTC Congress, Phoenix, Arizona, USA, 1997
- [4] Jordi Pérez-Romero, Ramón Agustí, Oriol Sallent, "Performance analysis of an ISMA CDMA packet data network", Proceedings VTC'99 Fall, Amsterdam, Septiembre 1999.
- [5] Wenxin Xu, Graham Campbell, "DQRAP - A Distributed Queuing Random Access Protocol for a Broadcast Channel", SIGCOMM'93, San Francisco, 14 Septiembre de 1993. *Computer Communications Review*, Vol 23, No.4, Octubre 1993, pp. 270-278.
- [6] Luis G. Alonso, Ramón Agustí, Oriol Sallent, "A Near-Optimum Medium Access Protocol Based on the Distributed Queueing Random Access Protocol (DQRAP) for a CDMA Third Generation Mobile Communication System", Proceedings PIMRC'99. Osaka. Septiembre 1999.
- [7] Dimitri Bertsekas, Robert Gallager, *Data Networks*. Second Edition. Prentice Hall International Editions. 1992.