

# Esquema de Acceso Híbrido Aloha-TDMA/TDM para una Red NPCS

Hugo TORRES  
Universidad Autónoma de Baja California  
Tijuana, Baja California 22390, México

y

Ernesto E. QUIROZ  
Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital, IPN  
Tijuana, Baja California 22510, México

## RESUMEN

Los sistemas de Radiomensajería de Banda Angosta mejor conocidos como NPCS (Narrowband Personal Communications Systems) son de reciente aparición, éstos permiten enviar mensajes alfanuméricos (también voz en tiempo-no-real en los sistemas más avanzados) a una terminal móvil (TM) portátil, compacta y ligera, así como enviar desde la misma TM, mensajes a otra TM similar. En este trabajo se propone y diseña un sistema de acceso múltiple por contienda para habilitar la comunicación TM-TM en una red NPCS. El multiacceso de las TM's a la Radiobase se efectúa en un arreglo celular, mediante la combinación de los esquemas Aloha Clásico y TDMA. El sistema propuesto se dimensiona para una capacidad máxima de 10,000 usuarios/ciudad, y se comprueba la factibilidad del sistema mediante un estudio del tráfico de paquetes generados y de interferencia co-canal.

**Palabras claves:** PCS, Radiomensajería, Celular, Aloha, TDMA, Tráfico.

## 1. INTRODUCCIÓN

Una evolución lógica y esperada de los sistemas de comunicación tradicionales de radiolocalización (Paging) que cuentan con una terminal muy pequeña (beeper) de despliegue de mensajes alfanuméricos, es la capacidad de transmitir mensajes desde estas pequeñas terminales. Los sistemas de Radiomensajería de Banda Angosta (NPCS: Narrowband Personal Communications Systems), proveen esta facilidad, ya que permite a una TM enviar mensajes a otra terminal similar del sistema. En México el servicio de paging de dos vías tiene una cobertura nacional, entre los servicios ofrecidos están: recepción de mensajes por Internet o una operadora, distribución de mensajes a radiolocalizadores de una y dos vías, posibilidad de enrutar una cuenta de correo electrónico al radiolocalizador de dos vías. La relación tarifa/servicios que ofrecen los sistemas de radiomensajería está por debajo de la correspondiente a la que conceden las compañías de telefonía celular, haciendo del sistema NPCS una opción todavía atractiva para el usuario común [1].

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se requiere obtener la solución del multi-acceso y manejo de la carga de tráfico de hasta 10,000 usuarios distribuidos

uniformemente en una red NPCS que cuenta con un estudio previo de propagación elaborado para una zona de servicio con cobertura en la Cd. de Tijuana, México [2]. Para la etapa de bajada (downlink) Estación base a TM, se utiliza la técnica de Simulcast, que mediante dos macro-celdas proporciona una cobertura completa (Fig. 1-a). Para la etapa de subida (up-link) que habilita la comunicación TM-TM, debido a la baja potencia de transmisión de las TMs, se diseñó un arreglo celular [3] conformado por 21 microceldas (Fig. 1-b).

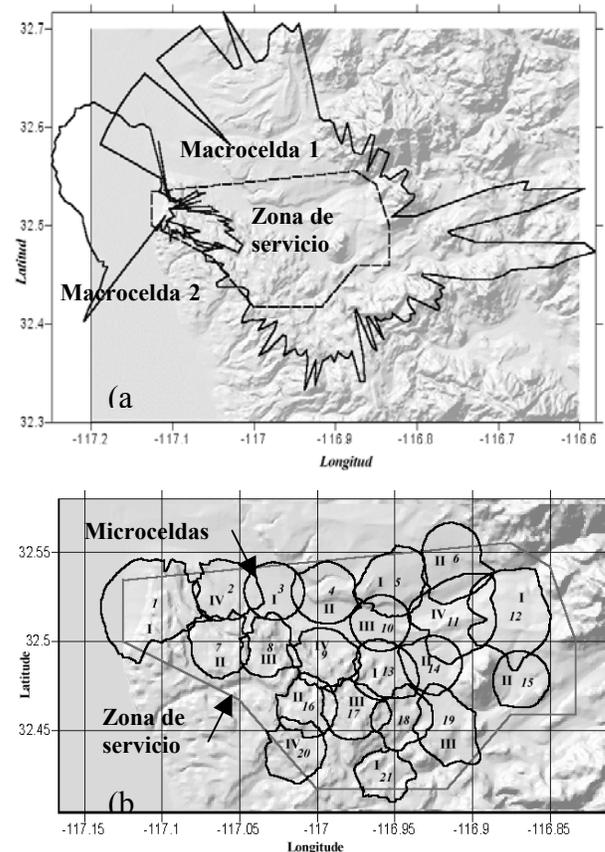


Fig 1. Diseño de la cobertura celular de (a) bajada y (b) subida.

El contorno de cada celda corresponde a la recepción de una intensidad de señal mínima de 40.8 dB $\mu$ V/m [4]. Por requerimientos de la orografía del área de cobertura, el diseño de la trayectoria completa que recorre un mensaje de una TM

origen a otra destino es el siguiente: El mensaje de la TM debe llegar primero a la Radiobase (RB) operando a 901 MHz, luego mediante enlaces UHF (380-512 MHz) las RBs se comunican con un sitio de repetidor, el cual encamina la información hacia la Estación de Control (EC) mediante un enlace de microondas (23 GHz). Finalmente, en la EC se realiza el procesamiento y ruteo de los mensajes. Se adopta un tiempo máximo de espera de 10s para que un mensaje enviado por una TM se reciba en la EC, que es valor típico de tolerancia en estos sistemas [3].

### 3. ESQUEMA DE ACCESO ALOHA-TDMA/TDM

Un mensaje enviado de una TM origen (TMO) a una TM destino (TMD), iniciará su recorrido en la TMO hacia la Radio Base (RB) de la celda, de aquí a la Estación de Control (EC), luego hacia los transmisores de cobertura amplia y finalmente llegará a la TMD. Para el trayecto TMO a EC, se propone un sistema de acceso híbrido que combina el Acceso ALOHA clásico con un TDMA fijo.

#### Comunicación TM a RB: Fase 1, Acceso Aloha Clásico

a) Se considera un máximo de 10,000 usuarios, distribuidos de manera uniforme en 21 células, es decir, 476 TM's por célula. b) Se considera que el 4 % de los usuarios cambian de célula en la hora pico. c) La transmisión de información de los usuarios se lleva a cabo mediante mensajes cortos y de longitud variable con una longitud máxima de 80 caracteres. d) El 10 % de los usuarios están activos en la hora pico.

#### Comunicación TM a RB: Fase 2, Acceso TDMA

La NPCS cuenta solamente con una frecuencia para la comunicación TM a RB, por lo que se aplica reuso de frecuencias ( $k = 4$ ) en combinación con un esquema de acceso TDMA fijo. Por ello las 21 celdas se organizan en cuatro grupos (Fig. 1-b), en donde cada grupo puede utilizar la frecuencia durante una ranura de tiempo. De esta manera, las TM's ubicadas en las células tipo I transmiten sus mensajes a las RBs, a continuación las TM de las células Tipos II y así sucesivamente (Fig. 2).

#### Comunicación RB a EC: Fase 3, Esquema TDM

La transferencia de información de cada RB a la EC se lleva a cabo mediante enlaces direccionales UHF punto a punto en modo TDM. El marco TDM tiene una duración equivalente a la de la suma de las cuatro ranuras del paso 2, y se segmenta en 21 subranuras, de tal forma que cada celda tiene una subranura asignada para descargar su información a la EC. En esta etapa se ha insertado un retraso de tiempo, con el cual todos los mensajes correspondientes de las celdas del mismo tipo se capturan y se envían en una ranura del marco TDM.

### 4. DIMENSIONAMIENTO DE LAS RANURAS Y SUBRANURAS

Para determinar la duración del tiempo de trama, se adopta el parámetro de calidad de servicio (QoS) consistente en el tiempo de espera promedio de 10 segundos, desde que el mensaje se captura por la operadora hasta que el pager recibe la información, especificado para un sistema de paging GL3000 Glenayre para 3,000 usuarios [5]. Se establece un tiempo de trama  $t_M = 10$  s, para calcular los tiempos de ranura ( $t_R$ ) y subranura ( $t_S$ ) se tienen las siguientes relaciones:

$$t_M = k t_R \quad \text{y} \quad t_R = \eta_{max} t_S \quad (1)$$

donde  $\eta_{max}$ , es número de células para el grupo más grande y  $k$  es el reuso de frecuencia. En particular, para este diseño  $\eta_{max} = 6$ ,  $t_M = 4t_R$  y  $t_R = 6 t_S$ , donde  $6 t_S$  representa la longitud de la ranura para el caso del Grupo II, que tiene seis células en comparación a los otros grupos que tienen cinco (Fig. 1-b). El tiempo de la trama  $t_M$  representa cuatro veces en tiempo de ranura  $t_R$ .

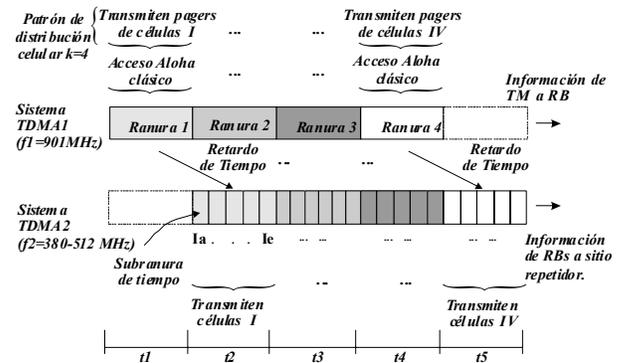


Fig. 2 Esquema del acceso Aloha-TDMA/TDM

### 5. ANALISIS DE TRÁFICO

El análisis de tráfico que se presenta considera tres componentes: a) El tráfico generado por los usuarios como resultado de los servicios ofrecidos (mensajes/hora), b) Tráfico de señalización, y c) Un comportamiento debido a la movilidad de los usuarios que cambian de célula (usuarios/hora). Los dos primeros consideran los parámetros utilizados en [3]; el tercero se basa en el modelo de fluido [6], el cual asume que el flujo de usuarios hacia y desde una celda representa un promedio, es decir, que en ninguna célula se acumularán todos los usuarios ni tampoco se quedarán vacías. El modelo de fluido representa el movimiento macroscópico de usuarios que se genera en cada celda y se aplica a regiones con poblaciones numerosas, utilizando densidades promedio de población de usuarios.

El dimensionamiento de tráfico en la hora pico se efectúa sobre una célula, una vez que se haya determinado el volumen de tráfico será posible especificar la duración de las ranuras y subranuras de los subsistemas TDMA y TDM. Los mensajes que se manejan en una célula son: (a) Mensajes que el usuario ingresa al pager para transmitir por célula ( $M_U$ ). (b) Mensajes de Registro ( $M_R$ ): Mensajes que el pager envía para informar a la EC que ha entrado a una nueva célula. (c) Mensajes de reconocimiento ( $M_C$ ): Son mensajes preformados que el pager envía a la EC para indicar que recibió un mensaje exitoso, se componen de la suma de los mensajes de reconocimiento a los generados por usuarios ( $M_U$ ) más los mensajes de reconocimiento debido a las llamadas originadas desde la Red Telefónica de Servicio Público (PSTN), ( $M_P$ ). Por lo tanto, el total de mensajes (o paquetes) generados en una hora es

$$M_T = r(M_U + M_C + M_R) \quad (2)$$

donde  $r$  representa el número de retransmisiones para el modelo de acceso Aloha clásico [7]. El número de bits por hora está dado por

$$R_{Th} = n_b r [M_U C_u + (M_U + M_P) C_r + a M_C r] \quad (3)$$

donde  $C_u$  es la longitud del mensaje de usuario en caracteres,  $C_r$  es la longitud de los mensajes de control en caracteres: mensajes de reconocimiento y registro;  $a$  es el porcentaje de movilidad en relación a los usuarios dentro de cada célula (población media) y  $n_b$  es número de bits por caracter. El número promedio de bits por paquete por segundo es

$$f_b = n_b R_{Ts} / 3600 (M_U + M_C + M_R) \quad (4)$$

donde  $R_{Ts}$  número de bits por segundo.

De [3] obtenemos que el tráfico normalizado ( $G$ ), la eficiencia de utilización del canal ( $S$ ) y la probabilidad de no colisión de paquete ( $P$ ) son

$$G = \frac{4M_T f_b}{R} \quad S = \frac{4M_T f_b}{R} e^{-\frac{8M_T f_b}{R}}$$

$$P = \left(1 - \frac{8f_b}{R}\right)^{M_T - 1} \quad (5)$$

donde  $R$  es la tasa de transmisión.

Para el diseño se tiene que la población media es de 476.2 usuarios por célula. Se tomará como referencia para el dimensionamiento del tráfico de retorno que en la hora pico el 10% de esta población transmite un mensaje, se tiene que el número de mensajes generados por los usuarios es 47.62 ( $M_U = 0.1M$ ), y substituyendo los valores conocidos en las fórmulas, se obtiene la gráfica de la figura 3; la cual muestra el punto de operación en la hora pico y el punto máximo de la curva.

Los resultados arrojan que durante la hora pico el número de paquetes retransmitidos es de 1.012 por el número total de mensajes originados (192 paquetes), es decir, ocurrirá aproximadamente una colisión por cada 100 mensajes. Estas cifras y la curva de la figura 3 muestran que el sistema es completamente holgado para los requerimientos esperados, por lo cual es factible implementar el sistema de multiacceso propuesto. [3]

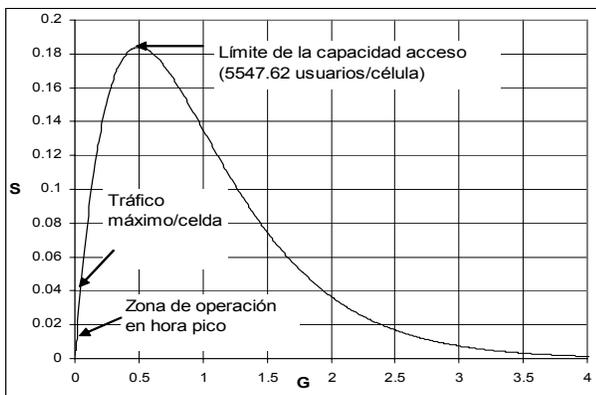


Fig. 3. Curva  $G - S$  para el sistema de acceso Aloha ( $a=0.04$ ,  $C_u=88$  y  $C_r=22$ ) [3]

## 6. ESTUDIO DE INTERFERENCIA

La interferencia debida al uso del mismo canal por dos células cercanas se llama interferencia co-canal, el caso crítico de máxima interferencia se presenta en la célula 4 (Fig. 1b). Un

usuario transmitiendo un mensaje en la célula 4 experimentará la interferencia de las células 6, 7, 14 y 16, correspondiente a la suma de los niveles de potencia de los mensajes (simultáneos) que se generan en esas células ubicadas a una distancia de 2 km del centro de la célula 4. Para encontrar el nivel de interferencia se realizó una simulación de cobertura Okumura (programa TAP) [9] con centro de radiación en la célula 4 transmitiendo con un 1 W de potencia, los resultados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Intensidad de campo eléctrico y potencia en el receptor de la célula 4. (Impedancia de entrada en el receptor = 50  $\Omega$ ).

Célula	Intensidad de campo eléctrico (dB $\mu$ V/m)	Potencia de señal en el receptor de la célula 4 (dBm)
6	-8.92	-143.05
7	-19.09	-153.22
14	-0.26	-134.39
16	-18.42	-152.55
4 (móvil)	17.02	-117.11

La interferencia co-canal está dada por [3],

$$I = \sum_{i=6,7,14,16} P_i \quad (6)$$

Donde  $P_i$  es nivel de potencia de la señal de interferencia. Por lo que la interferencia total es  $I = -133.7286$  dBmW. Para calcular la relación de energía de bit con respecto a la suma de la densidad de ruido más densidad de interferencia global,  $E_b/(N_o + I_o)$  es [3][8],

$$\frac{E_b}{N_o + I_o} = P_c - 10 \log f_b - 10 \log \left( KTN_f + \frac{I}{B} \right) \quad (7)$$

donde  $P_c$  es la potencia (en dB) del pager que está transmitiendo en la célula 4,  $B$  es el ancho de banda de esta señal,  $f_b$  es la tasa de datos de la señal,  $N_o$  es la densidad de ruido térmico generado,  $KT$  corresponde al ruido térmico generado en el receptor debido a una temperatura  $T$  y  $N_f$  es la figura de ruido (3 dB)[5], y  $K$  es la constante de Boltzmann.

Para una potencia de transmisión del pager de 1 W, una tasa de transmisión de datos de subida de 9600 bps, ancho de banda de 12.5 kHz, temperatura de 290 °K y figura de ruido en el receptor de 3dB, se obtiene  $E_b/(N_o + I_o) = 12.5076$  dB en la célula 4. Además se tiene una relación  $E_b/I_o = 17.765$  dB. Estos dos resultados se muestran adecuados con respecto a sistemas de radiolocalización conocidos, aunque con diferentes tecnologías de transmisión [8]. Se obtiene una razón  $C/I = 16.6185$  dB mayor que la prevista para el diseño celular en [3], y establecida a un valor mínimo de  $C/I = 13.8$  dB para  $k = 4$ . Se puede utilizar el mismo procedimiento para calcular el nivel de interferencia co-canal en el resto de los grupos de células

## 7. RESULTADOS

Considerando un tráfico ( $M_T$ ) uniforme durante una ventana de operación de 2.5 s (Tabla 1), se tiene que es posible transmitir 0.5274 paquetes, es decir, 324.851 bits pero al realizar el ajuste de tráfico para los cuatro grupos de celdas ( $4M_T$ ), se requiere

transmitir 1299.4041 bits. Considerando que la eficiencia máxima del sistema Aloha es 0.184, realmente se tiene un tiempo disponible de  $2.5s \times 0.184 = 0.46s$  para el tráfico calculado, y transmitiendo a 9600 bps, el sistema tiene la capacidad de enviar 4416 bits. Esta capacidad es mayor que el tráfico generado ( $4416 >> 325$  bits). La tabla 2, presenta un resumen de los resultados obtenidos considerando los parámetros de funcionamiento del sistema.

Tabla 2. Resumen de cálculos para el acceso Aloha-TDMA/TDM

Número Total de usuarios	10 000	
Número de células	21 (Grupo I: 5 células, Grupo II: 6 células, Grupo III: 5 células, Grupo IV: 5 células)	
Longitud de mensaje de usuario	616 bits	64.2 ms
Longitud de mensajes de control	154 bits	0.0160s
Longitud promedio de paquete	269.8844 bits	0.0281s
Número promedio de usuarios por célula	476.2	
Número de mensajes de usuario por célula	47.62	
Mensajes de Registro ( $M_R$ )	19.048	
Mensajes de reconocimiento ( $M_C$ )	123.18	
Número total de mensajes por célula sin retransmisiones	189.848	
Retransmisiones (G/S)	1.0119	
Número total de mensajes por hora por célula incluyendo retransmisiones ( $M_T$ )	192.1131	
Tiempo de trama para el primer sistema TDMA	10 s	
Tiempo de ranura	2.5 s	
Tiempo de subranura para el segundo sistema TDMA	0.4167 s	
Número de tramas posibles en una hora	360	
Número máximo de mensajes por ranura	88.927	
Número máximo de mensajes por subranura	14.8212	

## 8. CONCLUSIONES

1.- Se propone y diseña un esquema de multi-acceso híbrido Aloha Clásico-TDMA/TDM para un sistema de comunicaciones NPCCS de dos vías capaz de enviar mensajes de una TM a otra.

2.- El sistema se dimensiona para un crecimiento máximo de 10,000 usuarios/ciudad, comprobando mediante un estudio de tráfico y de interferencia co-canal, que para las condiciones de distribución celular, propagación y nivel de señal, el sistema es factible de implementarse.

3.- El análisis del volumen de tráfico ofrecido al sistema en la hora pico, verifica que el punto de operación se ubica en la parte baja de la región de estabilidad de la curva Aloha, lo cual indica que bajo las peores condiciones de carga de tráfico, el sistema no presentará situaciones de congestión.

4.- Mediante la combinación de una estrategia de reutilización de frecuencias, un arreglo celular de  $k = 4$  grupos de células, y un esquema TDMA fijo, se soluciona la restricción de contar con una sola frecuencia de operación para el enlace de subida en el segmento TM-RB.

## 9. BIBLIOGRAFIA

- [1] <http://www.movilaccess.com>.
- [2] T. H. Torres, B. V. Izquierdo, E. E. Quiroz "Optimized RF Coverage Study for a Bidirectional NPCCS", I Congreso Internacional de Ingeniería de Cómputo en Procesamiento Digital de Señales CIC-PRODIS 2001 (IPN), México, DF, Mayo-Junio del 2001. (ISBN 970-18-6447-6).
- [3] T. H. Torres, "Diseño de una Red de Radiocomunicación Móvil NPCCS de dos Vías". Tesis de maestría del CITEDIPN, Junio/2001.
- [4] Proyecto de la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SCTT1-1993, Instalación y operación de estaciones destinadas al servicio de radiocomunicación móvil de personas.
- [5] Manuales de Referencia GL3000 versión 5.02B, Glenayre, Octubre 1995.
- [6] V. K. Garg. "Principles & Applications of GSM", Ed. Prentice Hall, 1999, pp 288-289.
- [7] K. G. Johannsen and D. M. Kim "Multiple VSAT Communications System Design", Communication Systems: Towards Global Integration, 1990.
- [8] V. K. Garg. "Applications of CDMA in Wireless/Personal Communications", Ed. Prentice Hall, 1997, pp 198.
- [9] <http://www.softright.com>