

# UTILIZACIÓN DE MODULACIÓN ADAPTATIVA PARA EL ACCESO A SERVICIOS DE ALTA VELOCIDAD EN LMDS

José F. Paris Ángel

M. del Carmen Aguayo Torres

José T. Entrambasaguas Muñoz

Departamento de Ingeniería de  
Comunicaciones  
Universidad de Málaga  
paris@ic.uma.es

Departamento de Ingeniería de  
Comunicaciones  
Universidad de Málaga  
aguayo@ic.uma.es

Departamento de Ingeniería de  
Comunicaciones  
Universidad de Málaga  
jtem@ic.uma.es

## RESUMEN

En este trabajo se propone la utilización de modulación adaptativa para contrarrestar el efecto negativo que las variaciones temporales debidas a la lluvia ocasionan en los sistemas LMDS (Local Multi-point Distribution System). En primer lugar se presenta un modelo de banda estrecha del canal LMDS en condiciones de lluvia. Posteriormente se evalúa el régimen binario que se obtiene mediante el uso de modulación adaptativa para el acceso a servicios punto a punto de alta velocidad en función de la tasa pluviométrica y la longitud del vano. Finalmente se concluye que, independientemente de las condiciones atmosféricas, mediante modulación adaptativa es posible obtener simultáneamente altas velocidades de transmisión de datos y preservar una determinada calidad de servicio para el acceso de banda ancha a través de LMDS.

## 1. INTRODUCCIÓN

La arquitectura celular LMDS se basa en un enlace exterior fijo en la banda milimétrica que permite el acceso a gran cantidad de servicios interactivos de banda ancha. Típicamente, una estación base situada en un edificio o zona elevada iluminará un celda de unos 5 Km de radio. Recientemente se han regulado diferentes bandas desde 24 GHz hasta 43 GHz en diferentes países europeos y E.E.U.U para LMDS. En principio, el sistema LMDS consta de un enlace descendente punto a multipunto y un enlace ascendente punto a punto con una capacidad adaptada a las necesidades del usuario. Aunque la aplicación típica de LMDS será la de multimediosión DVB (Digital Video Broadcasting) a través del enlace descendente, entre las futuras aplicaciones se encuentra la de suministrar servicios de acceso de alta velocidad, en ambas direcciones, a determinados usuarios mediante el enlace punto a punto (por ej. usando Time-Division Duplex, TDD) [1].

El principal inconveniente de la banda milimétrica radica en que, pese a que la distancia entre transmisor y receptor se fija, tanto el movimiento de la vegetación u objetos próximos a la línea de visión directa como el efecto de la lluvia pueden producir grandes variaciones de las condiciones del canal. Velocidades de variación de hasta  $f_D \sim 1-2$  Hz en términos de 'Doppler spread' pueden observarse en este tipo de entornos [2].

Las técnicas de modulación adaptativa permiten obtener alta eficiencia espectral y garantizar una determinada tasa de bits erróneos en canales sometidos a desvanecimiento plano, sobre

todo cuando las variaciones del canal son suficientemente lentas [3]. Por lo tanto, en este trabajo se propone y analiza la utilización de modulación adaptativa en LMDS para, independientemente de las condiciones atmosféricas, conseguir un alto aprovechamiento de la capacidad del canal y preservar la calidad de servicio en la transmisión de datos.

## 2. MODELO DE SISTEMA LMDS

La propagación en la banda milimétrica es muy sensible a las condiciones meteorológicas y al movimiento de objetos próximos cerca de la línea de visión directa entre transmisor y receptor. Aun asumiendo que ningún objeto obstruye, ni siquiera parcialmente, la línea de visión directa, el efecto de la lluvia puede provocar profundos desvanecimientos en el enlace. Recientemente se comprobado experimentalmente que, en intervalos de 1-2 minutos donde la tasa pluviométrica se considera constante, aparecen fluctuaciones en la potencia recibida siguiendo una distribución de Rice causadas por la suma incoherente de componentes especulares debidas a la lluvia [4].

De acuerdo con el modelo de banda estrecha presentado en [4], con la transformación de variable aleatoria apropiada, la función de densidad de probabilidad (f.d.p) de la relación señal a ruido recibida instantáneamente  $\gamma$  se puede expresar como

$$p(\gamma) = \frac{1+K}{\gamma} \exp\left(-\frac{\gamma}{\Gamma}(1+K) - K\right) I_0\left(2\sqrt{\frac{\gamma}{\Gamma}(1+K)K}\right) \quad (1)$$

donde  $K(R)=16.88-0.04R$  es la relación potencia coherente a potencia especular de la distribución de Rice, que en este caso depende de la tasa pluviométrica  $R(\text{mm/h})$  y  $\Gamma(R,d)$  es la relación señal a ruido media en recepción que depende de  $R$  y de la distancia  $d(\text{Km})$  al transmisor. Se supone que en intervalos de 1-2 minutos  $R$  es constante. Los valores de  $R$  empleado para lluvia moderada es 10 mm/h, intensa 100 mm/h y muy intensa 210 mm/h. La relación señal a ruido media en recepción depende básicamente del balance de potencia del enlace de milimétricas y viene dado por

$$\Gamma(R,d)(\text{dB}) = P_{TX}(\text{dBm}) + G_{TX}(\text{dB}) + G_{RX}(\text{dB}) - 20\log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) - PL(R)(\text{dB}) - N_{RX}(\text{dBm}) \quad (2)$$

donde el significado de cada magnitud y el valor numérico asignado a cada una de éstas para un sistema LMDS trabajando a  $f_0=38$  GHz ( $\lambda=7.9$  mm) se muestran en la Tabla 1 [4].

Tabla 1. *Parámetros del enlace LMDS*

$P_{TX}(dBm)$	Potencia transmitida EIRP, 10 dBm
$G_{TX}(dB)$	Ganancia de la antena TX, 15 dB
$G_{RX}(dB)$	Ganancia de la antena RX, 30 dB
$PL(R)$	Exceso de pérdidas respecto a la propagación en espacio libre. Tiene en cuenta: pérdidas de inserción en antenas (2 dB) y atenuación por lluvia siguiendo el modelo de Crane modificado en [4]
$N_{RX}(dBm)$	Ruido en recepción. Se calcula con la temperatura de ruido $T_n=300$ °K, el periodo de símbolo $T=40$ ns, el factor de rolloff para pulsos en coseno alzado $\alpha=0.35$ y el factor de ruido $F=7$ dB

### 3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Para el canal variable descrito en la sección anterior, se han considerado tres esquemas posibles de modulación adaptativa QAM para conseguir que en ningún momento la tasa de error instantánea supere un valor  $BER_T$  objetivo. El esquema AQAM emplea: no transmisión (NOTX), 4-QAM, 16-QAM, 64-QAM y 256-QAM. El esquema 4-QAM-C sólo emplea 4-QAM o NOTX y el 256-QAM-C utiliza 256-QAM o NOTX. Una aproximación apropiada para la tasa de error binaria en  $M$ -QAM viene dada por [3]

$$BER(\gamma) = 0.2 \exp(-1.5\gamma/(M-1)) \quad (3)$$

Mediante (3) es posible determinar el conjunto de umbrales  $\{\gamma_i\}$  para los tres esquemas, de acuerdo a una  $BER_T$  dada (por ej.  $7 \cdot 10^{-3}$ , el valor usado en DVB [5]). Una vez fijados los umbrales de conmutación  $\gamma_i$  para cada constelación de tamaño  $M_i$  (si  $\gamma < \gamma_i$  no se transmite, NOTX), la velocidad binaria neta  $V(bps)$  y la tasa de error media  $BER_{media}$  alcanzada pueden calcularse evaluando numéricamente las siguientes integrales

$$V(bps) = \eta \frac{1}{T} \sum_{\{\gamma_i\}} M_i \int_{\gamma_i}^{\gamma_i+1} p(\gamma) d\gamma \quad (4)$$

$$BER_{media} = \frac{1}{p(\gamma \geq \gamma_1)} \sum_{\{\gamma_i\}} \int_{\gamma_i}^{\gamma_i+1} BER(\gamma_i) p(\gamma) d\gamma \quad (5)$$

donde se supone que el tiempo de símbolo es  $T=40$  ns y  $\eta$  tiene en cuenta la pérdida de velocidad asociada a la redundancia de la codificación de canal, que mejora la tasa de error hasta  $10^{-11}$  después de decodificar (suponiendo que se usa un código convolucional 2/3 y un Reed-Solomon 188/204) [5].

Observando la Fig. 1 se comprueba que el esquema AQAM permite obtener velocidades binarias netas por encima de 30 Mbps, cumpliendo la  $BER_T$  hasta distancias próximas a 2 Km en las condiciones más severas del canal. Los esquemas 4-QAM-C y 256-QAM-C aprovechan menos el canal, pero sin embargo requieren menor complejidad que el esquema AQAM. En la Fig. 2 se compara la  $BER_{media}$  alcanzada por el esquema AQAM y la que se obtendría si no se empleara modulación adaptativa con 4-QAM y 256-QAM. Se observa como el incumplimiento de la  $BER_T$  en estos esquemas fijos se empieza a producir en el mismo punto en que los esquemas 4-QAM-C y 256-QAM-C comienzan a reducir su velocidad binaria neta.

Finalmente se concluye que, además de las prestaciones comentadas, la velocidad del canal de retorno es muy baja, ya que si se codifica el cambio de constelación con 2 bits y el canal se estima cada  $0.01f_D^{-1}$  segundos [3] ( $f_D=2$  Hz), resulta ser 400 bps.

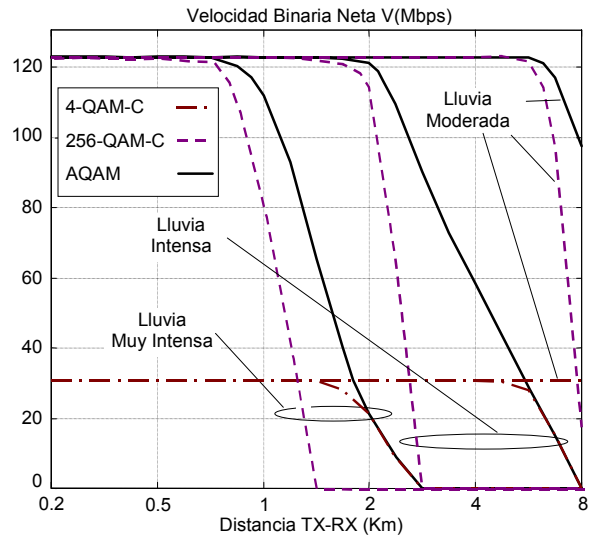


Figura 1. *Velocidades binarias netas alcanzadas.*

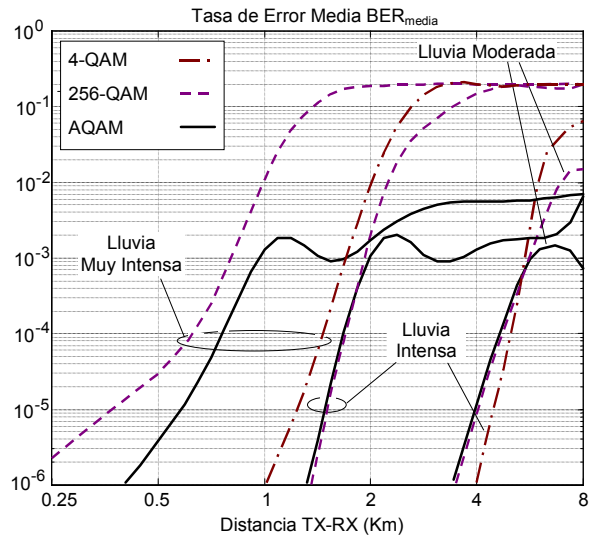


Figura 2. *Tasas de error media obtenidas.*

### 4. REFERENCIAS

- [1] Nordbotten, A., "LMDS systems and their application", *IEEE Comm. Mag.*, vol. 6, pp. 150-154, Jun. 2000.
- [2] Honcharenko, W., y otros., "Broadband wireless access", *IEEE Comm. Mag.*, vol. 1, pp. 20-26, Jan. 1997.
- [3] Goldsmith, A. J., y Soon-Ghee C., "Variable-rate variable-power MQAM for fading channels", *IEEE Trans. On Comm.*, vol. 45, pp. 1228-1230, Oct. 1997
- [4] Xu H., y otros., "Measurements and models for 38-GHz point-to-multipoint radiowave propagation", *IEEE JSAC*, vol. 18, pp. 310-320, March. 2000
- [5] Redaelli G., y otros., "Performance evaluation and link budget for 42 GHz LMDS", *Globecom'99*, pp.2630-2636