

# Evaluation of New Link Adaptation Techniques for Mobile Satellite Channels

Anxo Tato Arias

*anxotato@gts.uvigo.es*

**Titor:** Carlos Mosquera Nartallo

02 outubro de 2015

# Contenidos

- 1 Introducción
  - Objetivos
- 2 Componente satélite de las IMT-2000
- 3 Estándar S-UMTS familia SL
- 4 Modelo de canal
- 5 Adaptación de enlace S-UMTS
  - Algoritmo robusto para el enlace directo
  - Enlace de retorno (canal multi-estado)
  - Herramientas
  - Informed outage capacity
- 6 Conclusiones y líneas futuras

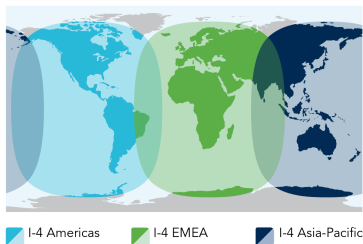
# Objetivos del proyecto

- Estudiar la familia SL del estándar S-UMTS.
- Analizar el canal LMS (Satélite Móvil Terrestre).
- Implementar en Matlab el modelo de canal LMS multi-estado.
- Modificar el algoritmo del enlace de retorno y adaptarlo para operar en el enlace directo.
- Validar el correcto funcionamiento de los algoritmos en el canal LMS.

# BGAN: sistema comercial S-UMTS

*Spectrum is the lifeblood of communication systems*

**Eficiencia espectral (bit/s/Hz)**

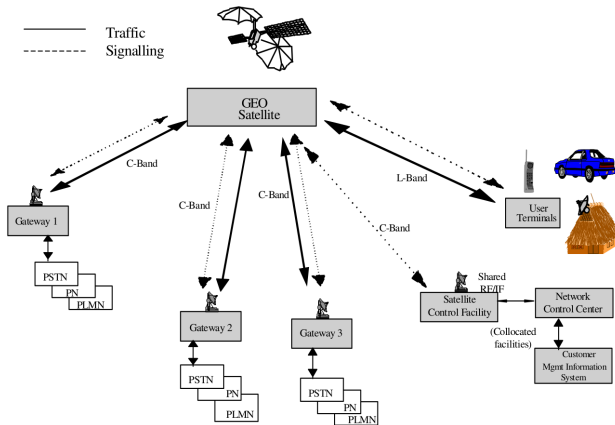


*Cobertura sistema comercial BGAN (Inmarsat)*

**Parámetros:**

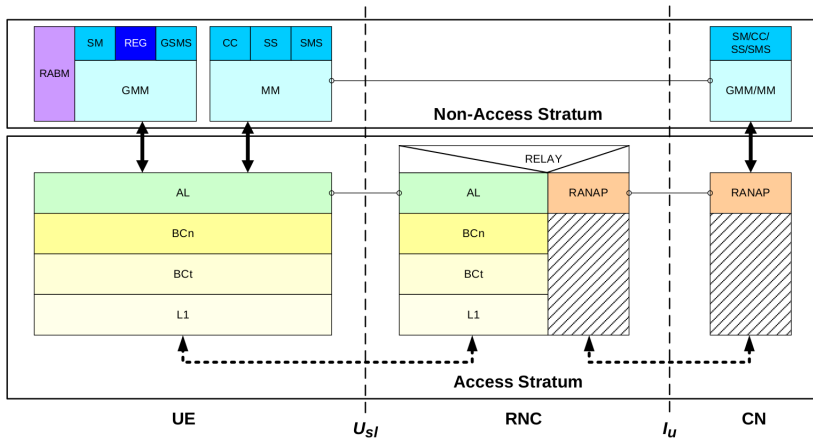
- **Frecuencia:** banda L  $\sim$  1600 MHz
- **Ancho de banda:**  $\downarrow$ 41 MHz,  $\uparrow$ 41 MHz

# Arquitectura IMT-2000



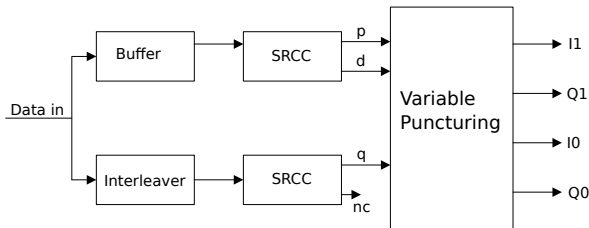
- **Interfaces Radio Satélite (SRI)**  
 SRI-A, SRI-B, SRI-C, SRI-E, SRI-F, SRI-G, SRI-H

# Pila de protocolos

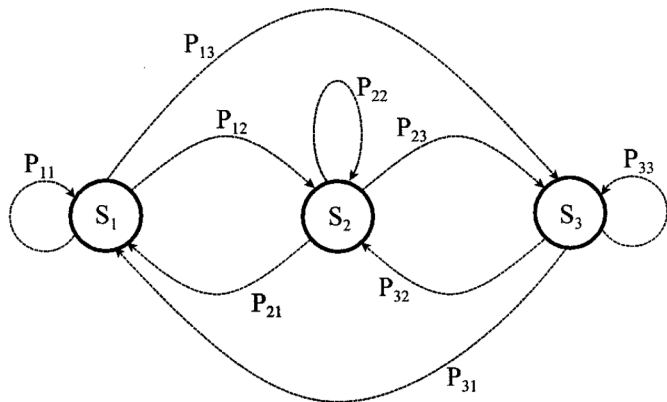


# Capa física: PHY

- Tasas binarias: 3 - 850 kbps
- Tipos de portadoras (*Bearers*)
  - **Modulación:** 64-QAM, 32-QAM, 16-QAM, QPSK,  $\pi/4$  QPSK
  - **Tasa de símbolo:** 8.4 - 168 kbaud
  - **Duración:** 5 ms, 20 ms, 80 ms
- Subtipos de portadoras
  - **Tasa de codificación del turbo-codificador:** 0.33 - 0.90



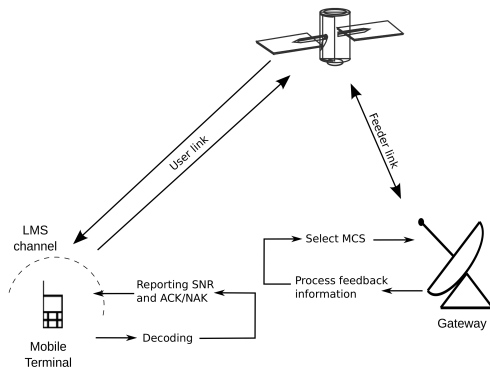
## Modelo de canal de Fontán



$$f_R(r) = \frac{r}{\sigma_r^2 \sigma_{\ln} \sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} \frac{1}{a} \exp \left[ -\frac{(\ln a - \mu)^2}{2\sigma_{\ln}^2} - \frac{(r^2 + a^2)}{2\sigma_r^2} \right] I_0 \left( \frac{ra}{\sigma_r^2} \right) da \quad (1)$$



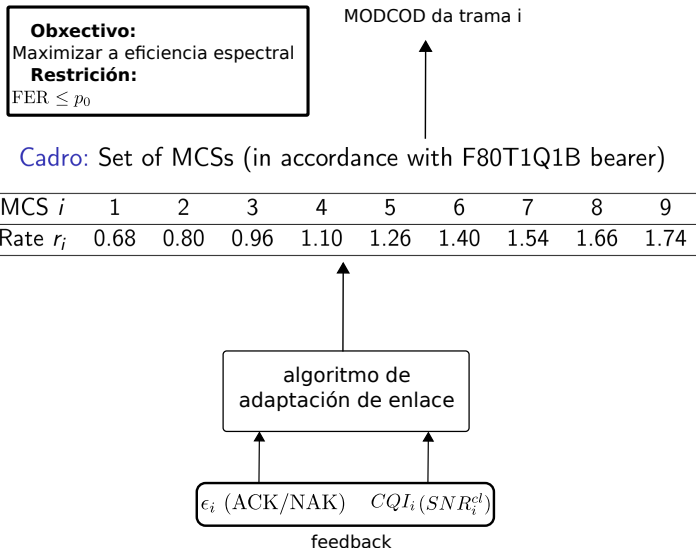
# Escenario



Alberto Rico-Alvariño, Anxo Tato, Carlos Mosquera.

**Robust Adaptive Coding and Modulation Scheme for the Mobile Satellite Forward Link.** In *Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC), 2015 IEEE 16th International Workshop on*, pages 530–534, June 2015.

# Exposición del problema



# Matemáticas...

- Adaptación del margen  $c_i$ :
  - Selección del MODCOD:

$$m_i = \Pi(\text{snr}_{i-d} + c_i) \quad (2)$$

- Problema de optimización:

$$\min_c J(c) = \min_c |\mathbb{E}[\epsilon] - p_0|^2 \quad (3)$$

- Descenso por gradiente:

$$c_{i+1} = c_i - \mu_i \frac{\partial J}{\partial c}(c_i) \quad (4)$$

- Esquema de adaptación:

$$c_{i+1} = c_i - \mu(\epsilon_{i-d} - p_0) \quad (5)$$

# Matemáticas...

- Adaptación del margen  $c_i$ :
  - Selección del MODCOD:

$$m_i = \Pi(\text{snr}_{i-d} + c_i) \quad (2)$$

- Problema de optimización:

$$\min_c J(c) = \min_c |\mathbb{E}[\epsilon] - p_0|^2 \quad (3)$$

- Descenso por gradiente:

$$c_{i+1} = c_i - \mu_i \frac{\partial J}{\partial c}(c_i) \quad (4)$$

- Esquema de adaptación:

$$c_{i+1} = c_i - \mu(\epsilon_{i-d} - p_0) \quad (5)$$

# Matemáticas...

- Adaptación del margen  $c_i$ :
  - Selección del MODCOD:

$$m_i = \Pi(\text{snr}_{i-d} + c_i) \quad (2)$$

- Problema de optimización:

$$\min_c J(c) = \min_c |\mathbb{E}[\epsilon] - p_0|^2 \quad (3)$$

- Descenso por gradiente:

$$c_{i+1} = c_i - \mu_i \frac{\partial J}{\partial c}(c_i) \quad (4)$$

- Esquema de adaptación:

$$c_{i+1} = c_i - \mu(\epsilon_{i-d} - p_0) \quad (5)$$

# Matemáticas...

- Adaptación del margen  $c_i$ :
  - Selección del MODCOD:

$$m_i = \Pi(\text{snr}_{i-d} + c_i) \quad (2)$$

- Problema de optimización:

$$\min_c J(c) = \min_c |\mathbb{E}[\epsilon] - p_0|^2 \quad (3)$$

- Descenso por gradiente:

$$c_{i+1} = c_i - \mu_i \frac{\partial J}{\partial c}(c_i) \quad (4)$$

- Esquema de adaptación:

$$c_{i+1} = c_i - \mu(\epsilon_{i-d} - p_0) \quad (5)$$

# Matemáticas...

- Adaptación del margen  $c_i$ :
  - Selección del MODCOD:

$$m_i = \Pi(\text{snr}_{i-d} + c_i) \quad (2)$$

- Problema de optimización:

$$\min_c J(c) = \min_c |\mathbb{E}[\epsilon] - p_0|^2 \quad (3)$$

- Descenso por gradiente:

$$c_{i+1} = c_i - \mu_i \frac{\partial J}{\partial c}(c_i) \quad (4)$$

- Esquema de adaptación:

$$c_{i+1} = c_i - \mu(\epsilon_{i-d} - p_0) \quad (5)$$

## Matemáticas... (2)

- Adaptación del margen  $c_i$  y del peso de la SNR  $\xi_i$ :
  - Selección del MODCOD:

$$m_i = \Pi(\xi_i \cdot \text{snr}_{i-d} + c_i) \quad (6)$$

- Esquema de adaptación:

$$\xi_{i+1} = \xi_i - \mu \cdot (\epsilon_{i-d} - p_0) \cdot \text{snr}_{i-2d}$$



## Matemáticas... (2)

- Adaptación del margen  $c_i$  y del peso de la SNR  $\xi_i$ :
  - Selección del MODCOD:

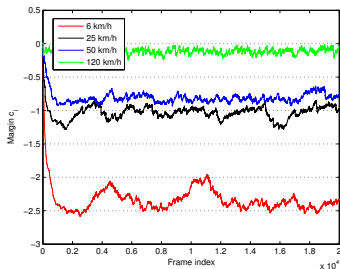
$$m_i = \Pi(\xi_i \cdot \text{snr}_{i-d} + c_i) \quad (6)$$

- Esquema de adaptación:

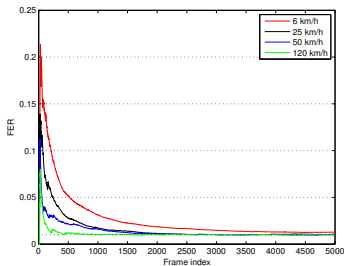
$$\xi_{i+1} = \xi_i - \mu \cdot (\epsilon_{i-d} - p_0) \cdot \text{snr}_{i-2d}$$

# Resultados (1)

- Evolución del margen y la FER acumulada



(a) Marxe

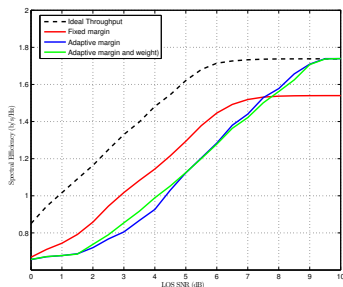


(b) FER acumulada

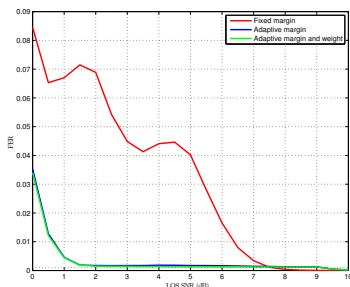
Figura: Entorno suburbano, FER objetivo de 0.01 y LOS SNR de 6 dB

# Resultados (2)

- Eficiencia espectral y FER



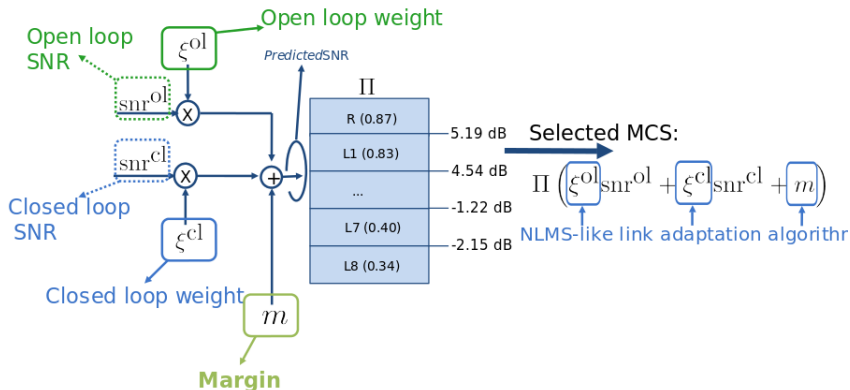
(a) Eficiencia espectral



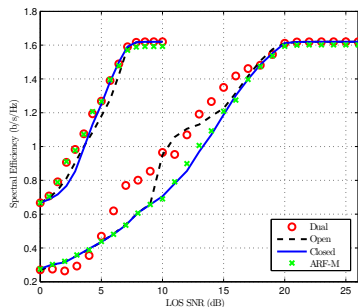
(b) FER

Figura: Entorno urbana, velocidad 5 km/h, FER objetivo de 0.001.

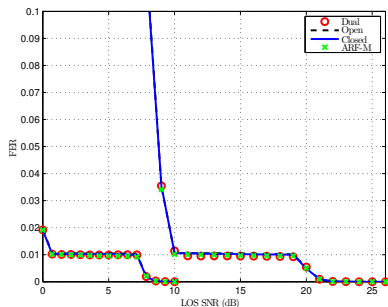
# Selección del MODCOD



# Resultados canal multi-estado



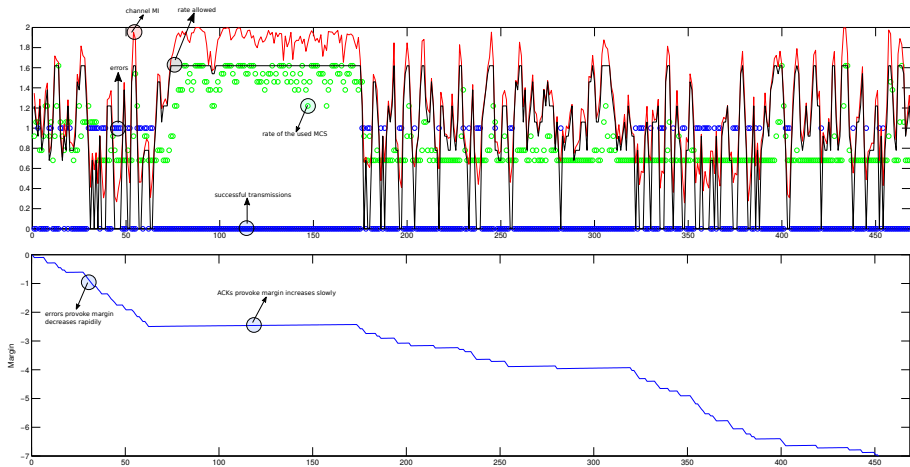
(a) Eficiencia espectral



(b) FER

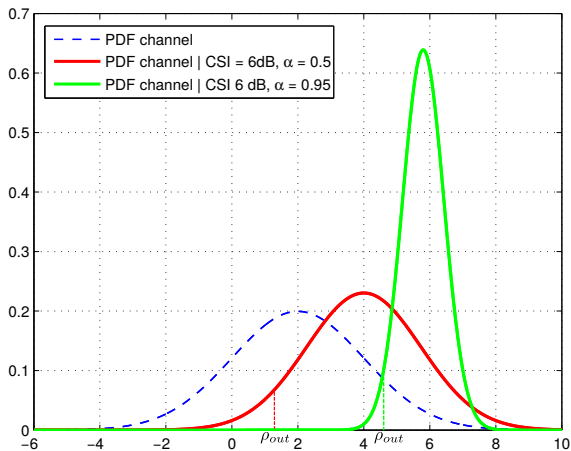
Figura: I-tree 60 km/h

# Adaptación de enlace en el dominio temporal

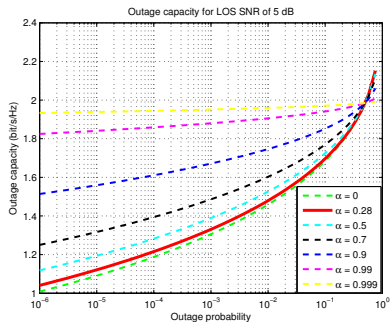


# Informed outage capacity

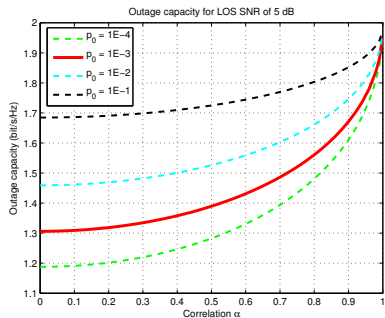
$$C_{out, \hat{\rho}} = \log_2(1 + \rho_{out}) \quad (7)$$



## Resultados (1)



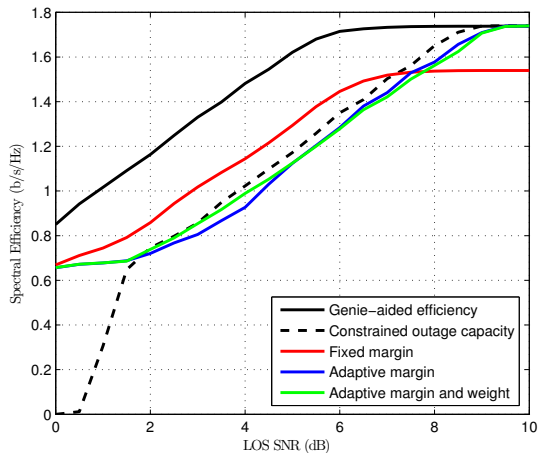
(a)



(b)



## Resultados (2)



Eficiencia espectral = 97 % Informed Outage Capacity

## ● Conclusiones

- Muy buenos resultados con el canal multi-estado del algoritmo dual que balancea las dos SNRs.
- El algoritmo para el enlace directo ofrece un buen comportamiento en términos de FER.
- El algoritmo para el enlace directo logra el 97 % de la informed outage capacity.
- Novas herramientas para analizar los resultados de los algoritmos de adaptación de enlace.

## ● Líneas futuras

- Expandir el concepto de informed outage capacity al canal multi-estado.
- Realizar simulaciones con los parámetros de la capa física de los estándares DVB-S2X/DVB-RCS2.
- Pruebas de campo para testear los algoritmos.

Gracias por su atención

# Ecuaciones algoritmos

Variante LMS Normalizado:

$$c_{i+1} = c_i - \frac{\mu}{\theta^2 + \text{snr}_{i-2d}^2} (\epsilon_{i-d} - \tilde{p}_{0,i}) \cdot \theta \quad (8)$$

con el lazo de  $\tilde{p}_{0,i}$ :

$$\tilde{p}_{0,i+1} = \tilde{p}_{0,i} - \lambda(\epsilon_{i-d} - p_0) \quad (9)$$

## Ecuaciones informed outage capacity

- Modelo SNR efectiva

$$\rho = \alpha \hat{\rho} + (1 - \alpha) \bar{\rho} + \sigma_{\rho} \sqrt{1 - \alpha^2} W \quad (10)$$

- FDP condicional

$$f(\rho|\hat{\rho}) \sim N\left(\alpha \hat{\rho} + (1 - \alpha) \bar{\rho}, \sigma_{\rho} \sqrt{1 - \alpha^2}\right) \quad (11)$$

- 

$$\int_{-\infty}^{\rho_{out}} f(\rho|\hat{\rho}) d\rho = p_0 \quad (12)$$

$$C_{out, \hat{\rho}} = \log_2(1 + \rho_{out}) \quad (13)$$

$$C_{out} = \int C_{out, \hat{\rho}} f(\hat{\rho}) d\hat{\rho} \quad (14)$$