

ANÁLISIS DE PRESTACIONES DE ALGORITMOS PSEUDO-MLSE EN SISTEMAS TCM APLICADOS A COMUNICACIONES MÓVILES

J. C. ALFARO, F. CASADEVALL

Dpto. Teoría de la Señal y Comunicaciones
Universidad Politécnica de Cataluña
C/ Gran Capitán S/N, Módulo D-4, BARCELONA
Telef. (93) 401.65.24 Fax (93) 401.64.47

ABSTRACT

This article describes the problematic of using TCM (Trellis Coded Modulations) in a mobile indoor environment characterized by a fast fading Rayleigh channel. This modulation technique involves the use of MLSE (Maximum Likelihood Sequence Estimation) algorithms (Viterbi algorithm), with the problem of exponential increasing of the number of surviving paths along with the interferent samples of the channel. To avoid this problem several NMLSE (Near MLSE) algorithms have been proposed. In this paper we consider one of these consisting in an adaptive threshold that limits severely the number of survivors. Different studies of the behavior of this algorithm, alone or assisted with Frequency Hopping and/or interleaving techniques, will be shown.

INTRODUCCION

Ante el sostenido incremento de la demanda de servicios de comunicaciones móviles, se ha visto la necesidad de utilizar modulaciones digitales mucho más robustas y eficientes espectralmente que las tradicionales FM analógicas. En particular, de entre las muchas modulaciones digitales conocidas las denominadas TCM^[1] (Trellis Coded Modulations) parecen apropiadas para su aplicación en sistemas de comunicaciones móviles por la codificación inherente que presentan sin incremento del ancho de banda. La introducción de estas modulaciones conlleva la necesidad del estudio de su comportamiento en un entorno móvil celular.

Uno de los principales problemas planteados en este tipo de sistemas, radica en la aparición de interferencia intersimbólica debida a la propagación multicamino, siendo por ello aconsejable utilizar algoritmos MLSE^[2] (Maximum Likelihood Sequence Estimation) para la detección de los datos transmitidos.

La técnica clásica utilizada (algoritmo de Viterbi) presenta el inconveniente de incrementar el número de estados y, por lo tanto, de caminos supervivientes, de forma exponencial con el número de muestras interferentes. Pensando en una implementación eficiente mediante técnicas VLSI es necesario considerar algoritmos que permitan una reducción substancial del número de estados y

caminos supervivientes sin una degradación excesiva en las prestaciones del sistema. En particular, en este trabajo se analiza el comportamiento en un entorno móvil de algoritmos pseudo-MLSE con el número de supervivientes limitado y basados en el uso de un umbral adaptativo para descartar los caminos con una métrica elevada^[3].

RESULTADOS

En la figura 1 se muestra la evolución de la tasa de error (P_e) en función de la relación señal-ruido para un canal con sólo ruido gaussiano y considerando :

- a.- Sistema QPSK, tomado como referencia puesto que utiliza el mismo ancho de banda que la modulación TCM sin codificación.
- b.- Modulación TCM 8PSK con 4 y 8 estados ^{[1],[4]} y algoritmo de Viterbi en detección.
- c.- Modulación TCM 8PSK con 4 y 8 estados con algoritmo reductor de caminos.

En particular el algoritmo Pseudo-MLSE considera 6 ó 7 caminos supervivientes como máximo en comparación con los 16 caminos requeridos en el algoritmo de Viterbi.

De los resultados mostrados en la figura 1 se deduce que el algoritmo pseudo-MLSE, que presenta menor dificultad de implementación, sólo degrada la calidad del sistema , en términos de relación señal ruido, en 0,5dB para valores típicos de P_e del orden de 10^{-3} ó 10^{-4} , sin apenas variación significativa de las prestaciones al incrementar el número de estados del Trellis.

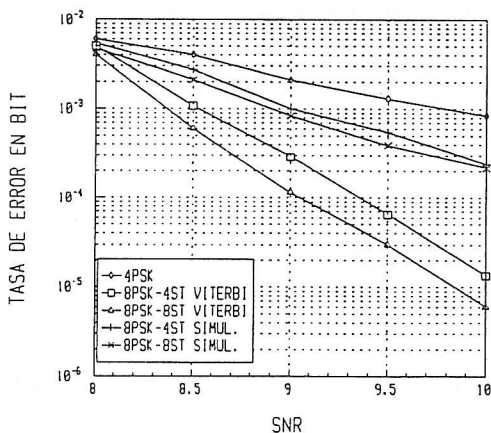


Figura 1 .-Tasa de error en función de la relación señal ruido. Canal gaussiano.

Una vez visto el comportamiento del sistema en un entorno gaussiano, a continuación, se muestra su comportamiento en un entorno móvil. Es de reseñar que nuestro sistema se desea diseñar especialmente para funcionar en un sistema de comunicaciones móviles indoor, lo cual implica que estaremos frente a un canal Rayleigh caracterizado por tener frecuencias doppler bajas y, en nuestro caso, por desvanecimientos selectivos en frecuencia al trabajar en banda ancha.

El modelo de canal adoptado en la simulación se corresponde con un esquema de dos rayos, uno directo y otro reflejado producido por los distintos rebotes en objetos y paredes, de la

misma potencia media y frecuencia doppler y separados temporalmente 0.8 veces el período de señalización de los símbolos enviados. La potencia instantánea de cada uno de dichos rayos sigue una distribución de tipo Rayleigh. Con este modelo pretendemos observar cómo actúa el sistema frente tanto a los desvanecimientos profundos, como a la fuerte interferencia intersimbólica producida por el rayo reflejado.

Los resultados obtenidos para el caso de una modulación TCM 8PSK de 4 estados se muestran en la figura 2.

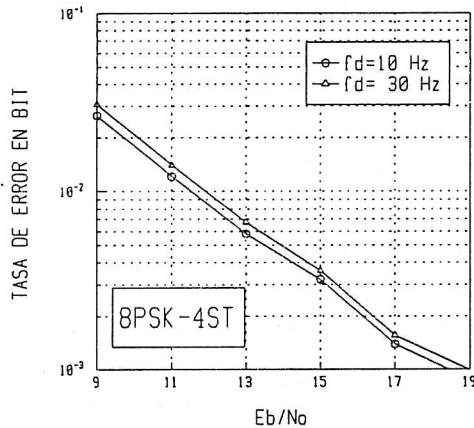


Figura 2 Comportamiento del sistema en un entorno Rayleigh selectivo en frecuencia

Las conclusiones más relevantes a las que conduce el estudio del sistema en un entorno Rayleigh selectivo en frecuencia son:

- a.- Se necesita mucha mayor relación E_b/N_0 para mantener la misma tasa de error que en el caso de canal gaussiano, del orden de 20 dB para una tasa de error de 10^{-3} .
- b.- La tasa de error empeora con el aumento de la frecuencia doppler del canal, aunque este aumento no es muy apreciable.
- c.- El número de caminos supervivientes necesarios para obtener dichas tasas de error se incrementan considerablemente respecto a los necesarios en canal gaussiano. Así pasamos de 6 ó 7 supervivientes en el caso de canal gaussiano a unos 21 en el caso de canal Rayleigh. Este aumento aunque es muy importante, es casi ínfimo comparado con el que hubiera sido necesario en el caso de utilizar un algoritmo de Viterbi completo. En este último caso el número de supervivientes hubiera sido de 2048, puesto que consideramos 3 muestras interferentes.

A la hora de analizar las causas por las cuales la tasa de error en bit aumenta considerablemente, podemos señalar a dos de ellas como las fundamentales. La primera es la existencia de desvanecimientos profundos que producen una pérdida temporal muy importante de la potencia de la señal recibida que, a su vez, produce una disminución brusca de la relación S/N

y, por consiguiente, un incremento del número de errores. La segunda es el hecho de que los errores en la decisión se propagan a los símbolos venideros, ya que el algoritmo conserva la información de los símbolos anteriores y éstos son usados para calcular la métrica del camino actual.

Considerando las dos causas primordiales del incremento de la tasas de error, nuestros esfuerzos irán encaminados a paliar en la medida de lo posible los efectos de ambas. Sobre la existencia de los desvanecimientos profundos muy poco podemos hacer ya que es una característica intrínseca del canal sobre la que no se puede actuar. En cambio, sobre la propagación del error sí que se puede actuar con técnicas ya conocidas como las de entrelazado combinado con técnicas de diversidad frecuencial por saltos en frecuencia, conocidas por FH (Frequency Hopping).

En particular, el sistema de entrelazado que hemos adoptado consiste en dos matrices una en el emisor y otra en el receptor de 250×10 símbolos cada una de ellas. Estas dimensiones son bastante reducidas gracias al empleo de una técnica de Frequency Hopping lento con saltos de frecuencia cada trama de longitud 250 símbolos.

El sistema de entrelazado permite romper la memoria del canal que es el efecto buscado, pero presenta el problema de que si hay interferencia intersimbólica, a la hora de detectar la secuencia enviada, los algoritmos con acumulación de métricas como el que aquí se presenta deben conocer información sobre símbolos que todavía no han decidido. Hay dos formas de solucionar este problema, una es la de usar un predetector de secuencias usando un algoritmo NMLSE de forma que a la matriz de de-interleaving del receptor se le pasan símbolos ya detectados, pasando a ser el detector final un algoritmo de Viterbi puro para resolver la codificación TCM. Esta solución da buenos resultados, pero requiere dos procesadores para su implementación práctica, lo que la hacen una solución cara y compleja que era lo que tratábamos de evitar. La segunda solución, que es la adoptada en este trabajo, consiste en la utilización de un igualador para eliminar la interferencia intersimbólica.

De todos los igualadores posibles hemos elegido un igualador lineal que minimiza el error cuadrático medio (MMSE Equalizer). Es cierto que los igualadores no lineales ofrecen mejores prestaciones que los lineales, pero los primeros necesitan un circuito de decisión sobre la señal recibida para actualizar los coeficientes del igualador. Este circuito de decisión debería ser también del tipo NMLSE, lo cual nos implicaría otra vez el uso de dos procesadores y un encarecimiento del sistema que justifica el uso de un igualador lineal.

En la figura 3 se muestran los resultados comparativos de nuestro sistema frente a sistemas que sólo usan igualación y detección hard. En esta ocasión utilizamos una modulación 16QAM de 4 estados que es más eficiente espectralmente que la 8PSK. Las modulaciones 16QAM son además tema de estudio en proyectos de vanguardia en el campo de las comunicaciones móviles como es el caso del Proyecto RACE^[5].

De la figura, las conclusiones que se pueden obtener básicamente dos. la primera es que se mejora del en un orden de magnitud la tasa de error para la misma relación τ/T . La segunda es que se obtienen ganancias apreciables en la relación S/N respecto al uso de sólo igualadores lineales. Estos últimos requerirían aproximadamente 10 dB más en dicha relación para alcanzar las prestaciones de nuestro sistema.

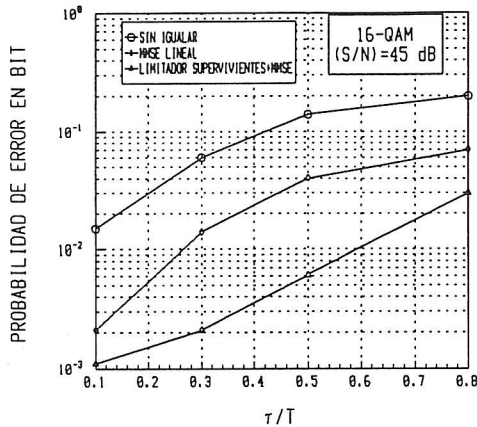


Figura 3 Comportamiento de los distintos sistemas con igualación.

CONCLUSIONES

En este estudio se ha analizado la viabilidad de utilizar algoritmos de reducida complejidad para la detección de señales TCM en un entorno de comunicaciones móviles. Los primeros resultados obtenidos indican un comportamiento razonable de dichos algoritmos que deberá ser corroborado mediante un estudio más exhaustivo, que actualmente se está llevando a término.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto "Diseño de Circuitos Asic para Sistemas de Comunicaciones Móviles Personales " financiado por CICYT.

REFERENCIAS

- [1] G. UNGERBOEK. "Trellis-Coded Modulations with Redundant Signal Sets". IEEE Com. Magazine, pp 5-21. February 1987.
- [2] G.D. FORNEY. "Maximum Likelihood Sequence Estimation of Digital Sequences in the Presence of Intersymbol Interference". IEEE Trans. on Information Theory, pp 363-378. May 1972.
- [3] S.J. SIMMONS. "Breadth-First Trellis Decoding with Adaptive Effort". IEEE Trans. on Communications, pp 3-12. January 1990.
- [4] S.G. WILSON, Y.S. LEUNG. "Trellis-Coded Phase Modulation on Rayleigh Channel". Proceedings ICC, Año 1987, pp. 739-743.
- [5] RACE Mobil Project 1043.