

ECUALIZACION EN BANDA BASE PARA SISTEMAS DE
TRANSMISION DIGITAL POR FIBRA OPTICA A ALTA
VELOCIDAD: ESTUDIO COMPARATIVO DE DIFERENTES
CRITERIOS DE DISEÑO

F. Casadevall, G. Junyent.
Dpto. Comunicaciones, E.T.S.I. Telecomunicación de Barcelona.

ABSTRACT

For data rates above 100Mb/s, multimode systems are generally modal dispersion rather than loss limited and some form of equalization is highly desired. We have investigated the performance of various equalizers. Linear equalization yields a slight improvement in the performance of multimode optical fiber. The reason is the rapid falloff in the equivalent baseband frequency response of the channel, which results in considerable noise enhancement when linear equalization is used. However, non linear equalization provides superior performances that linear equalization when dispersion increases. Results from computations indicate that it may be possible to increase the bit error rate on dispersion limited optical channels, with a little power penalty and relative simple hardware.

INTRODUCTION

Es conocido que para grandes velocidades de transmisión, aproximadamente mayores que 100Mbit/s, la máxima distancia entre repetidores de un sistema de transmisión digital, que utiliza fibras ópticas multimodo y longitudes de onda mayores o iguales a $1,3 \mu\text{m}$, está limitada por la dispersión modal. Esta dispersión degrada la respuesta en frecuencia del canal paso bajo equivalente, ocasionando un aumento importante de la interferencia entre símbolos, y no permite beneficiarse de la débil atenuación de la fibra óptica. En consecuencia resulta apropiado utilizar técnicas de ecualización para compensar la distorsión introducida por la fibra.

Los ecualizadores lineales y los ecualizadores no lineales ó recursivos son las estructuras normalmente utilizadas.

El problema de la optimización de los coeficientes de los filtros transversales del ecualizador ha sido estudiado por diversos autores. En [1], S.D. Personick analiza un ecualizador lineal que fuerza a cero la interferencia entre símbolos, Criterio de Nyquist, pero esta estructura no es necesariamente óptima ya que aumenta el nivel de ruido del receptor. Una estrategia mejor es la desarrollada en [2] donde R.A.M. Ruge malira maximiza la relación señal ruido, resultando un compromiso entre la interferencia entre símbolos y el nivel de ruido presente. Como alternativa a los métodos anteriores, en [3] D.G. Messerschmitt propone calcular los coeficientes del ecualizador según el criterio del error cuadrático medio mínimo (m.m.s.e.) optimizando el umbral de decisión.

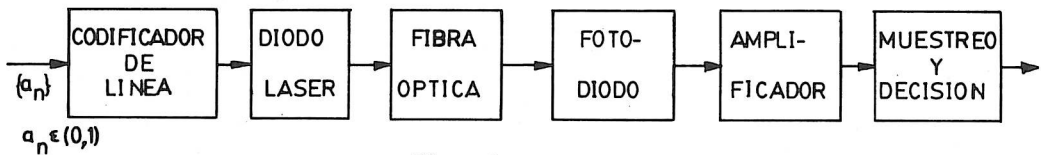
En [4] se ha desarrollado una nueva estrategia para el cálculo de los coeficientes que utiliza el valor umbral de la potencia óptica incidente en el receptor como parámetro a optimizar, de esta forma se maximiza la distancia entre repetidores. Este criterio está justificado por:

- La dependencia del ruido shot con la potencia óptima incidente.
- La variación de la frecuencia de corte de la fibra óptica con la distancia, que relaciona la abertura del "Diagrama del Ojo" con la potencia óptica incidente.

Según este nuevo método de cálculo, esta comunicación analiza las prestaciones que ofrecen los ecualizadores lineales y no lineales cuyos coeficientes se calculan con el criterio m.m.s.e.

MODELO DEL SISTEMA

El diagrama de bloques de un sistema de transmisión digital por fibra óptica está representado en la figura 1.



- Figura 1 -

La fuente de información produce una secuencia de símbolos binarios, $\{a_n\}$, estadísticamente independientes e equiprobables a la velocidad $1/T$ símbolos por segundo. La señal de salida del codificador de línea modula en intensidad un diodo laser, y la luz emitida se inyecta a la fibra que se comporta como un canal lineal en potencia óptica. El receptor se compone de un fotodetector, que realiza la conversión luz-corriente, seguido de un amplificador que eleva el nivel de la señal para un muestreo decisión posterior. De [5], la señal presente a la salida del amplificador es:

$$y(t) = SMP \sum_n a_n h(t-nT, L) + S(t) + n_T(t) \quad (1)$$

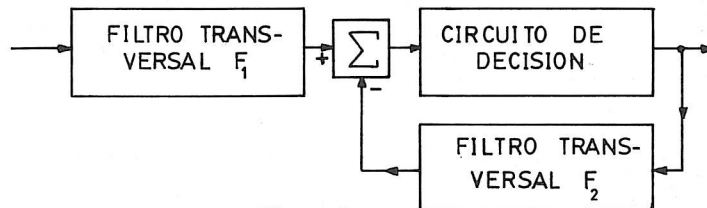
donde, S y M son la sensibilidad y la Ganancia del fotodetector, $(P)dB_m = (P_i)dB_m - \alpha L$, $(P_i)dB_m$ es la potencia de pico inyectada a la fibra por el diodo, α y L son la atenuación y longitud de la fibra óptica, $S(t)$ es el ruido shot originado por el fenómeno de conversión luz-corriente y $n_T(t)$ es el ruido térmico del amplificador. En el modelo propuesto la respuesta global del sistema es:

$$y(t, L) = [u(t+T/4) - u(t-T/4)] * h_F(t, L) * h_A(t)$$

donde, $u(t)$ es la función escalón unidad, $h_F(t, L)$ es la respuesta impulsional de la fibra sin atenuación y $h_A(t)$ es la respuesta impulsional del fotodetector-amplificador.

Para compensar la Interferencia entre símbolos (ISI) presente en (1) utilizamos: Ecualización Lineal (EL) y Ecualización No Lineal (NL). La

Ecualización Lineal se realiza mediante un filtro con estructura transversal de forma que su señal de salida consiste en una suma ponderada de la señal dada por la expresión (1) convenientemente retardada. La estructura del Ecualizador No Lineal se muestra en la figura 2. Dicho ecualizador se diseña de manera tal que el filtro F_1 elimina la ISI debida a los símbolos aún no detectados, mientras que F_2 anula la ISI producida por los símbolos ya detectados.



-Figura 2-

OPTIMIZACION DEL RECEPTOR

El parámetro que se emplea para medir las prestaciones del sistema es el valor umbral de la potencia óptica incidente, $P_u(L)$, necesaria para obtener una probabilidad de error, P_e , estándar de 10^{-9} .

El proceso de optimización puede resumirse en los siguientes pasos:

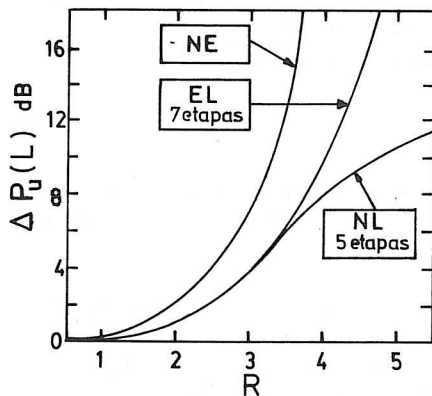
- 1º. Fijado el valor de M, P, L y la frecuencia de corte (F_C) de $h_A(t)$, se calcula el valor de los coeficientes del ecualizador, $|4|$.
- 2º. Conocidos los valores de los coeficientes del ecualizador se calcula la probabilidad de error en el símbolo, utilizando la aproximación gaussiana del ruido shot con las varianzas calculadas en el caso mas desfavorable y modelando la ISI por el Diagrama del Ojo. Al ser los datos transmitidos estadísticamente independientes y equiprobables, el umbral de decisión óptimo es aquel para el que: $P(e/0) = P(e/1)$.
- 3º. Cálculo de los valores mínimos de P y M necesarios para tener $P_e = 10^{-9}$.
- 4º. Obtención de la estructura, número de etapas de F_1 y F_2 y valor óptimo de los coeficientes que minimizan P .
- 5º. Cálculo del valor óptimo de F_C que minimiza P . Dicho valor resulta un compromiso entre el ruido y la ISI.

RESULTADOS

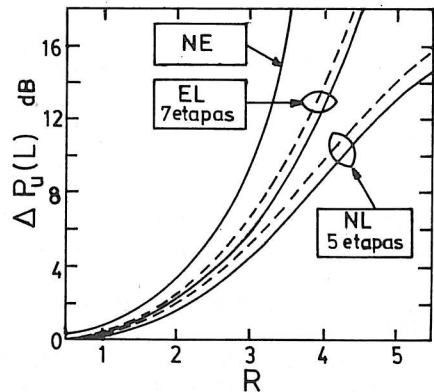
Las curvas de las figuras 3 y 4 muestran la degradación de $P_u(L)$, $\Delta P_u(L)$, en función de la dispersión de la fibra R (relación entre la velocidad de transmisión y el ancho de banda a -3dB en potencia óptica de la fibra). Si no se tiene en cuenta el ruido shot, la figura 3 muestra los resultados obtenidos con un ecualizador lineal de 7 etapas, con un ecualizador no lineal de 5 etapas y con un receptor no ecualizado (NE). Los

resultados considerando el ruido shot se indican con línea continua en la figura 4.

A efectos de comparación, también se han obtenido resultados cuando el método de optimización es el propuesto en [6]. Dicho método calcula el ecualizador según un criterio m.m.s.e., supone ruido gaussiano estacionario, evita la correlación con el mensaje digital transmitido considerando el mensaje más desfavorable y optimiza el umbral de decisión mediante la introducción de un offset. En ausencia de ruido shot el criterio de optimización propuesto en este trabajo conduce a resultados análogos a los obtenidos cuando se utiliza el criterio propuesto en [6]. Con ruido shot, los resultados en línea a trazos de la figura 4, indican que el método propuesto en [6] resulta entre 0,5 y 1dB peor, respecto al método propuesto en este trabajo.



- Figura 3-



- Figura 4-

CONCLUSIONES

Los ecualizadores no lineales conducen a mejores prestaciones que los ecualizadores lineales cuando la dispersión de la fibra es grande. La razón es rápida caída de la respuesta en frecuencia del canal paso bajo equivalente, que ocasiona un aumento considerable del ruido cuando se utiliza ecualización lineal.

Si el ruido shot es significativo el criterio de optimización propuesto en [4] es mejor, sin embargo para los casos en que el ruido shot es despreciable frente al ruido térmico, los criterios propuestos en [4] y [6] resultan equivalentes.

REFERENCIAS

- [1] S.D. Personick, "Receiver Desing for Digital Fiber Optic Communication Systems I y II". The Bell System Technical Journal, Julio-Agosto 1973.

- |2| R.A.M. Rugemalira, "Optimum Linear Equalization of a Digital Fibre Optic Communication System". Optical and Quantum Electronic. Marzo 1981.
- |3| D.G. Messerschmitt, "Optimum Mean-Square Equalization for Digital Fibre Optic-Systems". Proceeding I.C.C., Junio 1975.
- |4| F. Casadevall, "Contribución al estudio de técnicas de ecualización en repetidores regenerativos para sistemas de transmisión digital por fibras ópticas a altas velocidades". Tesis Doctoral, E.T.S.I.T. de Barcelona. Enero 1983.
- |5| G. Junyent, "Contribución al estudio de modelos lineales para sistemas de transmisión digital por fibra óptica". Tesis Doctoral, E.T. S.I.T. de Barcelona, Septiembre 1979.
- |6| B.L. Kasper, "Equalization of Multimode Optical Fiber Systems". The Bell System Technical Journal, Septiembre 1982.