

## MODELAMIENTO Y SIMULACION DE ALGORITMOS ADAPTIVOS DE ALOCACION DE BITS PARA SISTEMAS MULTIUSER

D. Aguirre<sup>1</sup>G. Serrano<sup>2</sup>

Facultad de Ingeniería en Electrónica y Computación (FIEC)<sup>(1)</sup>

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral

Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador

[diegofag7@hotmail.com](mailto:diegofag7@hotmail.com)<sup>(1)</sup>, [garyedgar\\_75@hotmail.com](mailto:garyedgar_75@hotmail.com)<sup>(2)</sup>

### Resumen

*Este proyecto se enfoca en el análisis y desarrollo de un algoritmo que nos permitirá entender con mayor facilidad lo que es la asignación adaptativa de bit en un sistema multiuser OFDM. La solución que hemos planteado para el desarrollo de este proyecto es de tipo "Multi-user discrete bit-loading", la cual podremos ver desarrollada más adelante {3.3}, pero que con una sencilla explicación podemos decir que esta solución trata de encontrar la forma más óptima de transmitir una cierta cantidad de bits, con el único propósito de minimizar la potencia total de transmisión. La solución planteada será desarrollada en un escenario específico con valores determinados con la finalidad de que cumpla con las condiciones necesarias para trabajar en un medio VDSL2. Gracias a análisis realizado se pudo verificar la eficiencia del algoritmo y la gran utilidad al momento de realizar la asignación ya que permite minimizar al máximo la potencia total de transmisión. El algoritmo planteado en este proyecto fue desarrollado en el software MATLAB, ya que consideramos que es un software nos permite recopilar datos de una manera más real, con el propósito de brindar la explicación más clara a lector.*

**Palabras Claves:**Asignación, Adaptiva, Bit, Algoritmo, Potencia, Multiusuario, VDSL, OFDM.

### Abstract

*This project focuses on the analysis and development of an algorithm that will allow us to understand more easily what is the adaptive bit allocation in multiuser OFDM system. The solution we have proposed for the development of this project is a "Multi-user discrete bit-loading", which later developed can see {3.3}, but with a simple explanation we can say that this solution is to find optimal way to convey a certain amount of bits, with the sole purpose of minimizing the total power transmission. The proposed solution will be developed in a specific scenario with values determined for the purpose of complying with the conditions necessary to work in an environment VDSL2. Through analysis could verify the algorithm efficiency and useful at the time of the allocation as to minimize the maximum total power of Transmission. The algorithm proposed in this project was developed in the MATLAB software, as we believe it is software allows us to collect data in a more real, in order to provide the clearest explanation to the reader.*

**Keywords:** Allocation, Adaptive, Bit, Algorithm, Power, Multiuser, VDSL, OFDM.

## 1. Introducción

La tecnología VDSL se trata de una técnica de acceso a internet de Banda Ancha, perteneciente a la familia de tecnologías xDSL la cual transmite datos a alta velocidad sobre distancias cortas utilizando pares trenzados de líneas de cobre con un rango de velocidad que depende de la longitud de la línea.

**OFDM** Es una tecnología de modulación multiportadora que transmite múltiples señales simultáneamente sobre un solo medio de transmisión, como lo son un cable o aire. Estos símbolos son transmitidos en paralelos sobre múltiples subportadoras que comparten el ancho de banda del sistema usando alguna forma de multiplexación por división de frecuencia (FDM).

La Asignación Adaptativa de Bits no tiene una definición específica pero se puede resumir que trata de hallar un esquema indicado para distribuir los recursos de un sistema adaptándose dinámicamente a las condiciones del canal para tener una transmisión óptima con los mejores parámetros.

## 2. Marco Teórico

### 2.1 Comprensión del problema

La comprensión de asignación adaptativa de bit es la parte fundamental del problema a desarrollar, y como se explicó anteriormente no existe una definición específica de lo que es asignación adaptativa de bits pero podemos concluir de que se trata de hallar un esquema o algoritmos que nos permita utilizar la mínima

potencia del sistema con la única finalidad de que la tasa de transmisión de bits no decaiga de un valor establecido.

Existen varias soluciones para la realización y comprensión de lo que es asignación adaptiva de bits y a la vez una gran disyuntiva para obtener un desempeño óptimo en la transmisión de datos, es decir por una parte tenemos que tratar de minimizar la potencia estableciendo una cierta cantidad fija de bits para transmitir y por otra parte maximizar la tasa de transferencia de bits manteniendo fija la potencia total del sistema.

Para lograr esto necesitamos un algoritmo que nos permita realizar la asignación de subportadoras y bits a los diferentes usuarios con el único propósito de minimizar la potencia total del sistema o a su vez aumentar la tasa de transmisión de datos, debido a que si esta asignación la hacemos de una manera aleatoria o sin ningún tipo de fundamentos técnicos es muy probable de que muchos bits se pierdan o que la potencia total aumente.

## 2.2 Definición del problema

En la transmisión de datos, se pueden presentar un sin número de problemas, entre ellos y uno muy sensible es la potencia. El aumento o disminución de la misma es vital para mantener dentro de los parámetros aceptables una transmisión, eh aquí donde aparece la asignación adaptiva de bits, que en este caso puntual nos ayudará a reducir la potencia de forma dinámica manteniendo la transmisión y ajustando convenientemente los parámetros a utilizar basándonos en una estimación fiable del canal.

Cuando se realiza transmisión de datos en sistemas DSL, cada usuario produce campos electromagnéticos los cuales afectan a los demás, ya que debido a estos campos se generan señales **crosstalk (Diafonía)** entre ellos [2].

Cuando hablamos de interferencia nos referimos al NEXT y FEXT, pero en este proyecto solo vamos a considerar el efecto FEXT lo que me indica que el canal de  $M$  usuarios será un canal con interferencia ISI (Inter-symbol Interference) [1], usando técnica DMT, el canal principal puede ser modulado en subcanales libres de interferencia ISI. En la figura (1) se muestra como se divide el canal principal.

Debido a la interferencia que se presenta en toda transmisión como ya se explicó anteriormente, se produce una relación señal a ruido junto con la ganancia del canal que se puede expresar en la siguiente ecuación:

$$S = \frac{H_{i,i}^{(2)} P_i(n)}{N_i(n) + \sum_{j=1, j \neq i}^M H_{i,j}^2(n) P_j(n)} \quad (1)$$

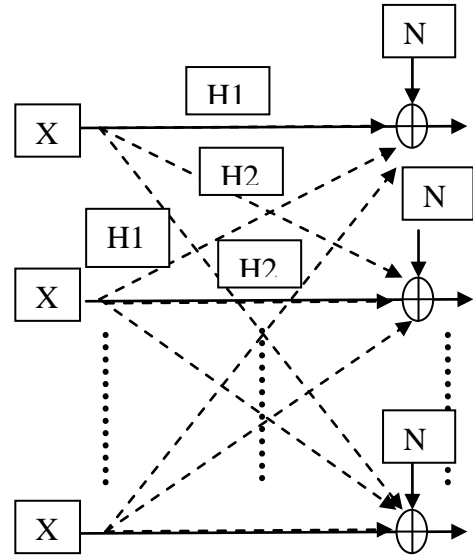


Figura 1. Interferencia FEXT y NEXT

Un problema interesante en este proyecto es minimizar la potencia necesaria con el fin de encontrar una tasa de transmisión dada, el cual se conoce como “*Margin-adaptiveloadng*” para un único usuario [2], [3], pero como se busca utilizar multi-usuarios, el objetivo será minimizar el total de la potencia utilizada para satisfacer dicha tasa de transmisión [1]. Esta minimización puede ser formulada de la siguiente manera:

$$\text{minimizaci3n} \sum_{i=1}^M \sum_{n=1}^N P_i(n) \quad (2)$$

$$\text{sujeto a} \sum_{i=1}^M \sum_{n=1}^N b_i(n) \geq B$$

$$b_i(n) \in Z_0^x$$

La potencia  $P_i(n, b_n)$  debe de satisfacer la siguiente ecuaci3n:

$$\frac{H_{i,i}^{(2)} P_i(n)}{N_i(n) + \sum_{j=1, j \neq i}^M H_{i,j}^2(n) P_j(n)} \geq f_i(b_i(n), \bar{P}_e) \text{ para } i = 1 \dots M \quad (3)$$

La cual se puede expresar en la siguiente matriz [1].

$$(I - A_n) x_n(b_n) \geq y_n \quad (4)$$

D3nde:

$$\{A_n\}_{i,j} = \begin{cases} \gamma_i(b_i(n)) H_{i,j}^2(n), & \text{para } i \neq j \\ H_{i,i}^2(n), & \text{para } i = j \\ 0 & \end{cases} \quad (5)$$

$$x_n = [P_1(n, b_n) \dots \dots \dots P_M(n, b_n)]^T \quad (6)$$

$$y_n = \left[ \frac{\gamma_1(b_1(n)) N_1(n)}{H_{1,1}^2(n)} \dots \dots \frac{\gamma_M(b_M(n)) N_M(n)}{H_{M,M}^2(n)} \right]^T \quad (7)$$

## 2.3 Comprensi3n de la soluci3n

Para reducir la complejidad de los algoritmos óptimos de tipo Greedy, nosotros en este proyecto hemos creído conveniente utilizar la solución sub-óptima **Multi-userdiscrete bit-loading**, basándonos en que este algoritmo nos permite manipular la asignación de bit por bit a los diferentes usuarios y subportadoras con el mínimo costo, de tal manera que la potencia consumida sea la mínima.

A continuación se plantea el desarrollo y explicación del algoritmo.

**PASO 1.**

$n = 1, \dots, N$ ; Subportadoras

$i = 1, \dots, M$ ; Usuarios

Realizamos la inicialización del vector bit-rate  $b_n$  debido a que en primera instancia no va a ver transmisión de datos:

$$b_n = [0 \dots 0]T ; T = \text{transpuesta}$$

Inicializamos la matriz  $X_n^*$  que es una matriz compuesta por los vectores que representan la potencia de cada usuario con respecto a cada subportadora:

$$X_n^*(b_n) = \begin{bmatrix} [1] \\ \vdots \\ [N] \end{bmatrix} P_1 \dots \begin{bmatrix} [1] \\ \vdots \\ [N] \end{bmatrix} P_M$$

**PASO 2.**

Inicializamos la matriz  $F$  que representa la matriz de saturación, cuyas filas representan las  $N$  subportadoras y las columnas los  $M$  usuarios, cuando un elemento de esta matriz esta en 0, me indica que ese usuario con dicha subportadora se le puede asignar un bit, caso contrario si este elemento esta en 1 me indica que a ese usuario con dicha subportadora está saturada debido a que ya ha sido asignado un bit.

$$F = \begin{bmatrix} 1 & \dots & M \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ N & \dots & \end{bmatrix} ; \text{ toda la matriz inicialmente en 0}$$

**PASO 3.**

Calculamos el costo mínimo de transmisión de 1 bit.

- a) Calculamos  $X_n^*(e_i)$ .
- b) Calculamos  $J(n, i)$ .
- c) Comprobar que  $P_i(n, e_i) > \overline{P(n)}$  si cumple, entonces  $F(n, i) = 1$ .

Primero realizamos el cálculo de la matriz de potencias con respecto a  $e_i$ , luego por medio de:  $J(n, i) = P_{\Sigma}^*(n + b_n, e_i) - P_{\Sigma}^*(n, b_n)$ , calculamos

el costo mínimo real de transmisión de 1 bit, debido a que restamos la potencia inicial obtenida de  $X_n^*(b_n)$  con la potencia necesaria para transmitir cuando ya se hizo la asignación de 1 bit, gracias a este cálculo podemos obtener una matriz con los valores de los costos mínimos de transmisión de cada usuario con relación a cada subportadora.

$$CM = \begin{bmatrix} 1 & \dots & M \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ N & \dots & \end{bmatrix} ; \text{ Matriz de costos mínimos}$$

**PASO 4.**

Encontramos un usuario  $K(n)$ , que tiene el costo mínimo para cada subportadora.

$$K(n) = \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ N \end{bmatrix} ; \text{ Donde cada elemento del vector } K(n),$$

me representa el usuario con el costo mínimo de la matriz CM

$$\overline{J(n)} = \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ N \end{bmatrix} \text{ Donde cada elemento de este vector, me}$$

representa el valor del costo mínimo de la matriz CM

**PASO 5.**

Encuentro la subportadora  $m$ , que tenga el mínimo costo del vector  $\overline{J(n)}$

**PASO 6.**

Como ya encontramos la subportadora y el usuario con el mínimo costo, procedemos a asignar un bit a dicha subportadora del usuario  $K(m)$ .

$$b_m = b_m + e_k(m)$$

**PASO 7.**

Actualizamos los valores con el nuevo bit asignado y realizamos los nuevos cálculos:

- a) Calculamos  $X_m^*(b_m + e_i)$ .
- b) Calculamos  $J(m, i)$
- c) Comprobamos en la matriz de saturación, que cada vez que se asigne un bit a una subportadora  $m$ , este elemento de la matriz se sature, es decir  $F(m, i) = 1$ .
- d) Comprobar que  $\max_k \{ P_k(n, b_m + e_i) \} > \overline{P(n)}$ , si cumple, entonces  $F(m, i) = 1$ .

**PASO 8.**

Una vez actualizados todos los datos, volvemos a encontrar el usuario con el mínimo costo y la

subportadora de dicho usuario para seguir asignando los bits como en el PASO 4.

**PASO 9.**

Comprobamos que la sumatoria total de los bits asignados no sea mayor a la tasa binaria total de transmisión. Si esto se cumple, regresamos al paso 5 y así sucesivamente hasta asignar todos los bits de la tasa total de transmisión.

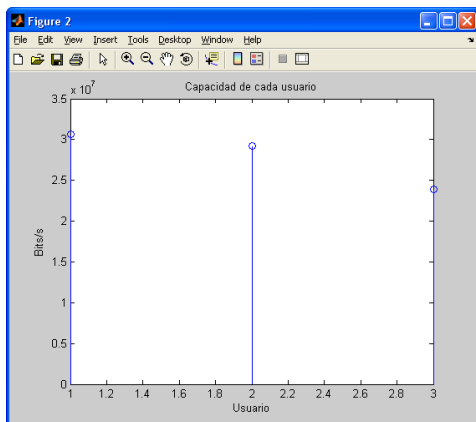
**2.4 Modelamiento y Simulación**

Debido a que una transmisión puede presentar un gran número de escenarios dependiendo de condiciones climáticas, se trata de ser un poco más específico y por ello se ha planteado el siguiente escenario con respecto al perfil 12<sup>a</sup> correspondiente a la tabla [8]:

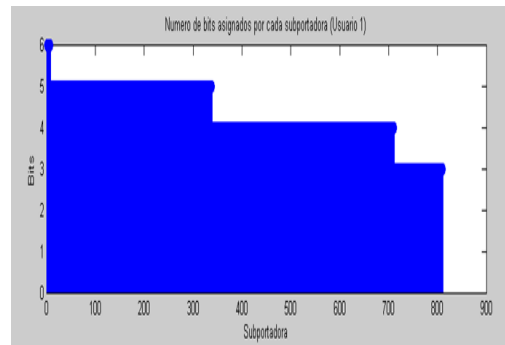
**Tabla 1.** VDSL Profiles with Frequencies correspondig to Band Plan 998

| Profile | Max. DS Power | Max. DS Freq. | Max. US Power | Max. US Freq. | U0 for Long Range | Typical Application           |
|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|-------------------------------|
| 8c      | 11.5 dbm      | 8.5 MHz       | 14.5 dbm      | 5.2 MHz       | Required          | Cabinet (RT)                  |
| 8d      | 14.5 dbm      | 8.5 MHz       | 14.5 dbm      | 5.2 MHz       | Required          | Cabinet (RT)<br>Exchange (CO) |
| 8a      | 17.5 dbm      | 8.5 MHz       | 14.5 dbm      | 5.2 MHz       | Required          | Exchange (CO)                 |
| 8b      | 20.5 dbm      | 8.5 MHz       | 14.5 dbm      | 5.2 MHz       | Required          | Exchange (CO)                 |
| 12a     | 14.5 dbm      | 8.5 MHz       | 14.5 dbm      | 12.0 MHz      | Required          | Cabinet (RT)<br>Exchange (CO) |
| 12b     | 14.5 dbm      | 8.5 MHz       | 14.5 dbm      | 12.0 MHz      | Not required      | Cabinet (RT)<br>Exchange (CO) |
| 17a     | 14.5 dbm      | Not specified | 14.5 dbm      | Not specified | Not required      | Cabinet (RT)                  |
| 30a     | 14.5 dbm      | Not specified | 14.5 dbm      | Not specified | Not required      | MxU                           |

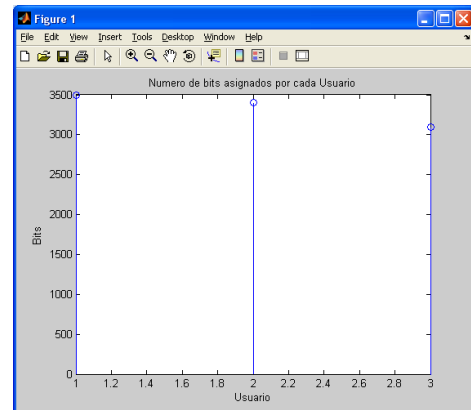
Una vez planteado el escenario y desarrollado el algoritmo se puede realizar la simulación del algoritmo el cual nos da los siguientes resultados con respecto a la potencia:



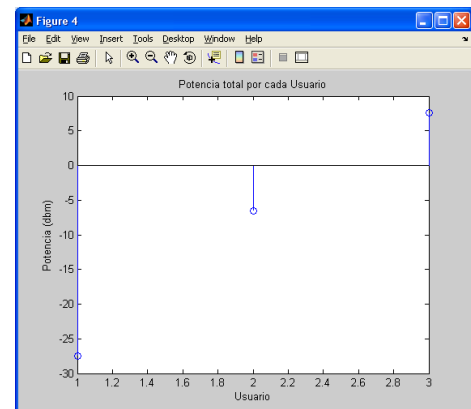
**Figura2.** Capacidad de 3 usuarios a diferente distancias.



**Figura 3.** Bits alocados por cada suportadora.



**Figura 4.** Bits alocados por cada usuario.



**Figura 5.** Potencia consumida por cada usuario.

En estas gráficas nos podemos dar cuenta la variación de la potencia total consumida por usuario, observando que la potencia aumenta a medida que aumenta el número total de usuarios.

**3. Conclusiones**

- Como hemos comprobado en el desarrollo de este proyecto la asignación adaptiva de bit no tiene un concepto predefinido ya que siempre dependerá de los parámetros que se quiera y se puedan manipular en un sistema, con el fin de optimizar la transmisión.
- El esquema de este algoritmo nos permite decidir a qué usuario y a qué subportadora le

vamos a asignar un bit, esto dependiendo del costo mínimo que se requiera para transmitir dicho bit.

- La potencia teórica máxima de transmisión en un sistema VDSL2 por usuario en downstream es de 14.5 Dbm, pero según nuestras simulaciones hemos obtenido valores menores al mencionado, esto debido a que en este algoritmo se trata de optimizar la potencia de transmisión.

#### 4. Recomendaciones

- Se recomienda antes de realizar la simulación tener en claro el escenario que se va a utilizar, tomando en cuenta el canal de transmisión para que no haya equivocaciones en los parámetros.
- Se recomienda para un futuro desarrollo de este proyecto, se lo realice en un medio inalámbrico tomando en cuenta los parámetros y variaciones del sistema, con especial cuidado a la interferencia que se presenta en este medio de transmisión.

#### 5. Referencias

[1] Jungwon Lee, Ranjan V. Sonalkar and Jhon M. Cioff. "Multi-user Discrete Bit-Loading for DMT-based DSL Systems".

[2] T. Starr, J. M. Cioffi and P.J. Silverman. "Understanding Digital Subscriber Line Technology".

[3] J. Campello. "Practical bit-loading for DMT"

[4] D. Hughes-Hartogs. "Ensemble Modem Structure for Imperfect Transmission Media"

[5] B. Marcus, P. Siegel and R. Roth. "Constrained systems and coding for recording channels".

[6] D. Mitra. "An asynchronous distributed algorithm for power control in celular radio system"

[7] Cajetan M. Akujuobi and JieShen. "Efficient Multi-user Parallel Greedy Bit-Loading Algorithm with Fairness Control For DMT Systems"

[8] SigurdSchelstraete and Ben Runyan. "Designing for VDSL2"