

EVALUACIÓN Y DESEMPEÑO DE FILTROS ADAPTATIVOS DE VOLTERRA DE BAJO COSTO COMPUTACIONAL, PARA ECUALIZACIÓN DE CANAL

Yesenia Guamán, Paúl Bernal, Román Lara
Departamento de Eléctrica y Electrónica
Escuela Politécnica del Ejército
Sangolquí-Ecuador

Resumen—La ecualización de canal, es un factor muy importante para una correcta transmisión de señales, en cualquier sistema de comunicaciones, en este documento se analizan los filtros adaptativos a partir de la implementación de algoritmos como *LMS* y *RLS*, para ecualización de un canal, el cual está implementado siguiendo el modelo no lineal de Saleh; que se caracteriza por trabajar tanto con la amplitud como con la fase, ya que para que la señal sea igualada o ecualizada deben involucrarse estos dos factores indispensables. Los algoritmos que se usan pasan por dos tipos de procesos, con el fin de comparar cada uno de sus comportamientos, de acuerdo a varios entornos que se someten para analizar de una manera eficiente; los métodos usados están basados en la generación de series de Volterra y en el método de dispersión, empleando el modelo matemático de *Lasso*, con la finalidad de reducir el costo computacional. La implementación de cada proceso de los filtros, se toma como referencia los trabajos realizados en anteriores artículos técnicos, es así como se obtienen resultados muy favorables, aproximándose así a lo esperado.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el avance de la tecnología ha asombrado a todos aquellos que hacemos uso de la misma, y las comunicaciones satelitales no son la excepción. Debido a que la comunicación por satélite puede brindar varios servicios como son: telefonía, y transmisión de datos de alta velocidad, televisión, internet etc.; para lo cual la señal a transmitir debe acceder a los enlaces entre satélites, y para que la señal sea receptada adecuadamente debe existir un alta relación señal a ruido S/N , es decir la potencia debe ser muy alta para un correcto proceso de este tipo de comunicaciones, al ser necesario amplificar la potencia desde los inicios de la comunicación satelital se ha usado los amplificadores de tubo de onda progresiva o también llamados TWT, que se utilizan para una gran variedad de aplicaciones tanto industriales como militares y científico-médicas que requieran de una alta potencia de microondas; la aplicación a la que se orienta este proyecto son precisamente estos amplificadores de potencia, es necesario recalcar que la señal para ser transmitida debe ser procesada, de modo que tanto el ruido y la distorsión sean menores, uno de estos procesos indispensables es la ecualización de canal, para lo cual es ineludible la implementación de los filtros adaptativos

que es el tema central de este trabajo; los filtros mencionados se basan en los algoritmos descritos en varios libros, y se los ha escogido debido a su robustez y su bajo costo computacional. El presente trabajo está organizado en VI secciones, dentro de las cuales se tratan los temas referentes al desarrollo del mismo. En la sección I se presenta una breve introducción, así como su importancia y justificación de este proyecto, en estos puntos se señala las aplicaciones a las que se orienta el filtraje adaptativo. En la sección II se expone la elección de los métodos matemáticos que se usan para la elaboración de este proyecto, y cumplir con el principal factor en sistema de comunicaciones como es la ecualización de canal. En la sección III, se explica el modelamiento del canal, de acuerdo a los métodos explicados e implementados en la sección II. En la sección IV, se muestran las simulaciones realizadas, con el canal modelado y sus respectivos filtros adaptativos. En la sección V, se analizan los resultados obtenidos en las simulaciones de la sección IV. En la sección VI, se enlistan las conclusiones y recomendaciones obtenidas a lo largo del desarrollo de este trabajo, así como también futuras líneas de investigación.

II. ELECCIÓN DE MÉTODOS MATEMÁTICOS

A. ALGORITMOS DE FILTRAJE ADAPTATIVO

Debido a su bajo costo computacional, y de su sencillez para aplicaciones en el tema de filtraje adaptativo, se ha optado por elegir los siguientes algoritmos.

- *LMS Volterra*

Se usa para filtros de series desde segundo orden hasta enésimo orden, estos reducen la complejidad computacional a un nivel aceptable para algunas aplicaciones, además simplifica las derivaciones. La extensión para casos de alto orden es sencilla. El filtro adaptativo que estima la señal deseada usando la expansión truncada de las series de segundo orden de Volterra [1].

- *RLS Volterra*

Este algoritmo logra la convergencia más rápido que LMS, su principal objetivo es, elegir los coeficientes del filtro adaptativo de modo que la señal de salida, se ajuste a la señal deseada en la mayor medida posible en el sentido de mínimos cuadrados, durante el período de observación [1].

Las curvas de estos métodos se observan en la figura 1.

B. MÉTODO DE DISPERSIÓN

El método de dispersión o también denominado *Sparse* [2], se lo ejecuta con el modelo matemático de Lasso, que al aplicarla sobre un vector de entrada de coeficientes, muestra aquellos coeficientes que se desprecian y toman un valor de 0 en la estructura de la planta en uso. La planta que se usa se indica en (1).

$$d(k) = -0.76x(k) - x(k-1) + x(k-2) + 0.5x^2(k) + 2x(k)x(k-2) - 1.6x^2(k-1) + 1.2x^2(k-2) + 0.8(k-1)x(k-2) + n(k) \quad (1)$$

Al aplicar ambos métodos se obtienen las curvas representadas en la figura 1, las cuales más adelante serán comparadas en base a su *MSE* (Mean Square Error), para el algoritmo de dispersión son tres los coeficientes que toman el valor de cero.

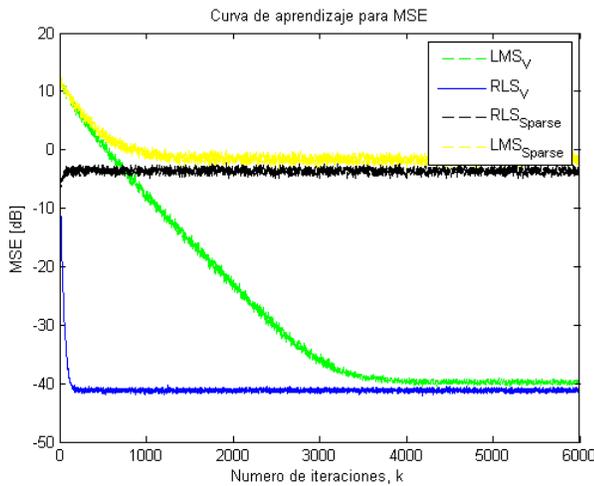


Fig. 1: Sistemas Volterra y Volterra disperso.

C. MODELO NO LINEAL SALEH

Se debe tomar en cuenta que un amplificador típico, un tubo de ondas progresivas (TWT), o un amplificador de potencia de estado sólido (SSPA) se utiliza en sistemas satelitales de canales no lineales cumpliendo con las características expuestas en la figura 2. Para esquemas 4-QAM o superiores, las características no lineales de la etapa del amplificador de

potencia en el transmisor típicamente es introducir distorsiones significativas de amplitud y de fase a la señal transmitida [3] y [4]. Con fin de lograr una mayor capacidad de datos satelitales no lineales en un ancho de banda fijo, utilizando modulaciones en canales de orden superior, se usa un modelo basado en un equalizador de canal de Volterra no lineal.

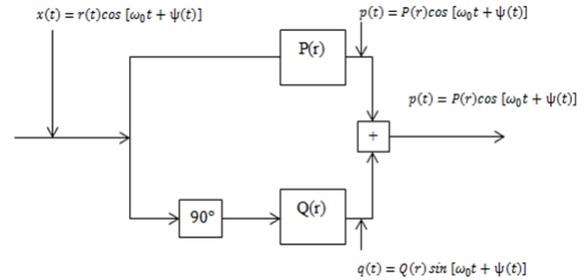


Fig. 2: Diagrama de bloques de modelo no lineal Saleh.

En la figura 3, se puede visualizar un esquema en bloques del sistema completo, el cual consta de su respectiva modulación y proceso de equalización.

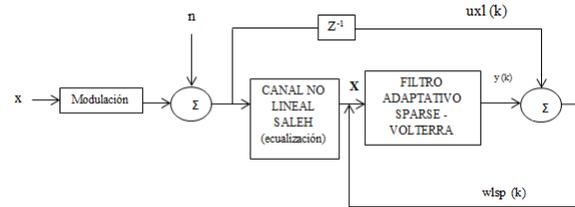


Fig. 3: Diagrama de bloques de sistema.

Los conversores usadas para eliminar las distorsiones son AM-AM y AM-PM, cuyas curvas se ilustra en la figura 4.

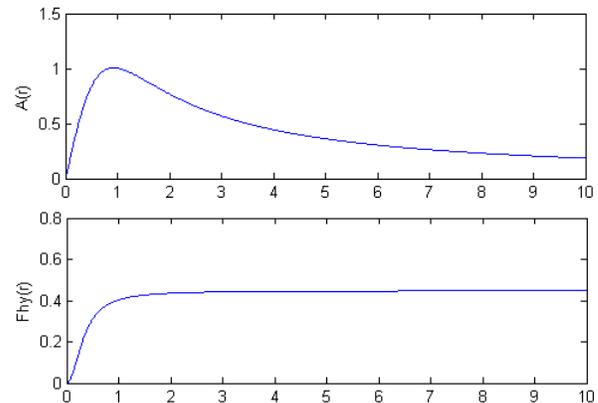


Fig. 4: Conversion AM-AM y AM-PM, respectivamente.

III. MODELAMIENTO DE CANAL

Como ya se mencionó el canal no lineal posee algunas características tomadas del modelo no lineal de Saleh [4], y al adaptarlo conjuntamente con los filtros LMS y RLS implementados; obtenemos las siguientes curvas ilustradas en la figura 5.

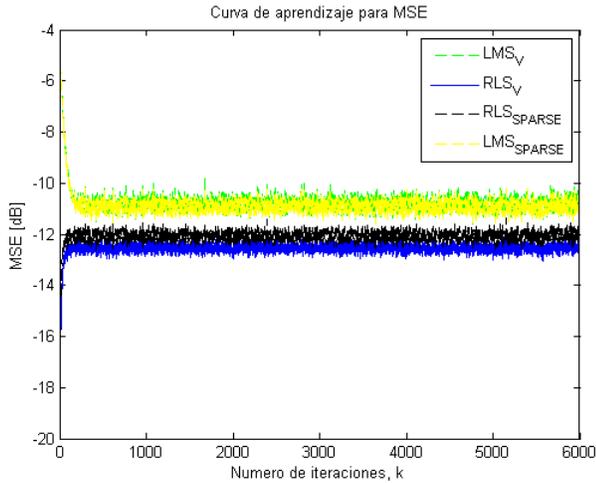


Fig. 5: MSE para LMS y RLS volterra - LMS y RLS disperso, en canal Saleh.

IV. SIMULACIONES

Debido a que se usan métodos que se caracterizan por su sencillez, ya que estos son recursivos; se realizan pruebas cambiando en número de iteraciones, el número de realizaciones por conjunto, factor de convergencia, etc. Para un mejor análisis de los resultados, se realizan variaciones en el vector de entrada tanto en el número de delays como o retardos, como en el grado del mismo. Para un vector de segundo orden y con dos retardos, se tienen los siguientes coeficientes.

$$\mathbf{X}_1 = \begin{bmatrix} x(k) \\ x(k-1) \\ x(k-2) \\ x^2(k) \\ x(k)x(k-1) \\ x(k)x(k-2) \\ x^2(k-1) \\ x(k-1)x(k-2) \\ x^2(k-2) \end{bmatrix}$$

Para un nuevo vector de tercer orden y con presencia de dos retardos, se obtiene la siguiente estructura de coeficientes.

$$\mathbf{X}_2 = \begin{bmatrix} x(k) \\ x(k-1) \\ x(k-2) \\ x^2(k) \\ x(k)x(k-1) \\ x(k)x(k-2) \\ x^2(k-1) \\ x(k-1)x(k-2) \\ x^2(k-2) \\ x^3(k) \\ x^2(k)x(k-1) \\ x^2(k)x(k-2) \\ x(k)x^2(k-1) \\ x(k)x^2(k-2) \\ x^3(k-1) \\ x^2(k-1)x(k-2) \\ x^2(k-2)x(k-1) \\ x^3(k-2) \\ x(k)x(k-1)x(k-2) \end{bmatrix}$$

Finalmente se realiza la reestructuración del vector de entrada, de modo que posea tres retardos y sea de segundo orden, para esto se tienen los siguientes coeficientes.

$$\mathbf{X}_3 = \begin{bmatrix} x(k) \\ x(k-1) \\ x(k-2) \\ x(k-3) \\ x^2(k) \\ x(k)x(k-1) \\ x(k)x(k-2) \\ x(k)x(k-3) \\ x^2(k-1) \\ x(k-1)x(k-2) \\ x(k-1)x(k-3) \\ x^2(k-2) \\ x(k-2)x(k-3) \\ x^2(k-3) \end{bmatrix}$$

De acuerdo a los vectores de entrada expuestos, se comprobó que no es necesario elevar el número de retardos; sin embargo es de gran relevancia incrementar el grado del vector de entrada, por lo tanto los resultados que se muestran en las figuras 6 y 7 son aquellos que corresponden a \mathbf{X}_2 .

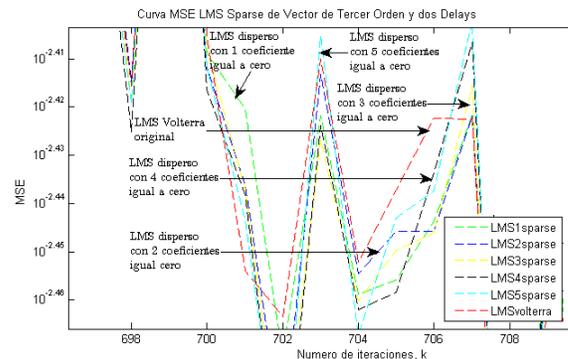


Fig. 6: MSE de LMS para \mathbf{X}_2 .

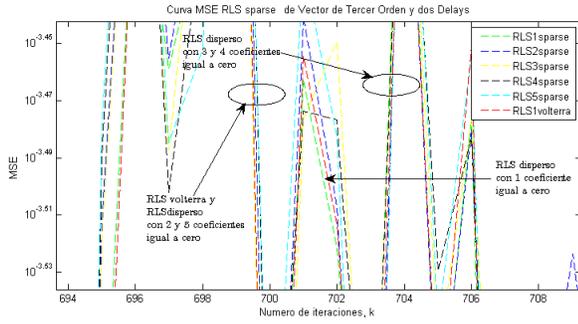


Fig. 7: MSE de RLS para X_2 .

A continuación se presentan los resultados al variar las modulaciones, los mismos que se aprecian en la figura 8; inicialmente como ya se vió se usa 4-QAM y adicionalmente se usan 16-QAM y 32-QAM.

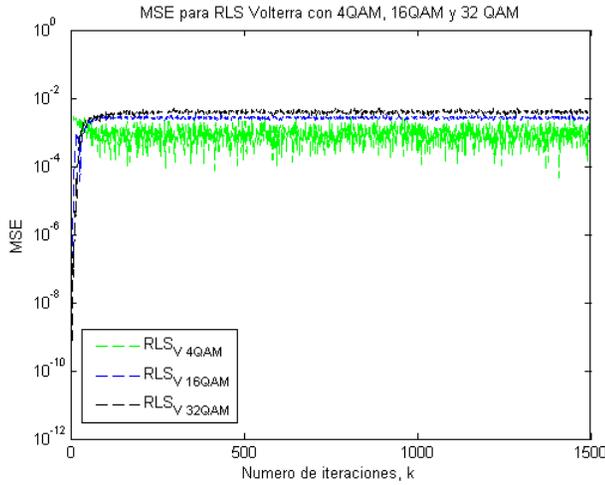


Fig. 8: MSE de RLS volterra para tres modulaciones.

Las curvas que se muestran en la figura 8 indican que no existe ruido en las mismas, además que se observa una convergencia muy aceptable.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo a los resultados obtenidos en las simulaciones con distintas estructuras del vector de entrada; en la tabla 1 se muestran los valores de MSE, correspondientes a X_2 . Si se toman los valores de error mínimos en la columna de LMS Sparse se halla que estos conciernen a las simulaciones que desprecian de tres coeficientes en adelante, ahora si se observa el caso de RLS Sparse de aprecia que los mínimos valores de error son de aquellas simulaciones en las cuales se hacen cero desde uno hasta tres coeficientes, por lo tanto ambos casos coinciden que se pueden forjar a cero hasta tres coeficientes para que exista un rango de error aceptable. Lo cual indica que no hace falta elevar el número de retardos, al contrario lo ideal es aumentar el grado de los coeficientes, de este modo se obtendrá el nivel de MSE esperado.

Coefficientes igual a cero	LMS Volterra	LMS Sparse	RLS Volterra	RLS Sparse
1	0.1453	0.1448	5.95e-4	6.07e-4
2	0.1453	0.1448	5.95e-4	6.25e-4
3	0.1453	0.1447	5.95e-4	6.41e-4
4	0.1453	0.1447	5.95e-4	6.58e-4
5	0.1453	0.1447	5.95e-4	6.84e-4

Tabla I: MSE de vector con estructura X_2 .

Algoritmo	Multiplicación	Adición	División
LMS Volterra	$2N + 3$	$2N + 2$	0
RLS Volterra	$3N^2 + 11N + 8$	$3N^2 + 11N + 8$	1
LMS Sparse	$2N + 3$	$2N + 2$	0
RLS Sparse	$3N^2 + 11N + 8$	$3N^2 + 11N + 8$	1

Tabla II: Costo computacional de algoritmos.

Debido a que el desarrollo de este trabajo recalca en bajo costo computacional de estos algoritmos, es necesario mostrar las funciones de complejidad computacional correspondiente a cada uno de ellos, como se indica en la tabla 2; la misma que contiene las funciones de costo computacional correspondiente a cada uno de los algoritmo utilizados, para resaltar la diferencia que existe entre el método Volterra y de dispersión, aunque se escriben para ambos casos en función de N ; tomando en cuenta que, existe una diferencia ya que, debido a que en el método de dispersión se usa menor número de coeficientes en la entrada, ya que ciertos de estos, se reemplazan por ceros, lo cual hace que la longitud del vector se reduzca; consecuentemente el costo computacional también se reduce, además se observa que para los casos RLS se tiene una función cuadrática, lo que ratifica que se trata de un método recursivo.

VI. CONCLUSIONES

En el campo de los amplificadores, una alta linealidad implica una eficiencia baja, es decir que la potencia que debe llegar a la carga es menor a la deseada, de lo cual surge el trabajo por mejorar la linealidad sin alterar la eficiencia. Las distorsiones presentes en las señales que se requiere transmitir son básicamente consecuencias de las características no lineales de los subsistemas de los cuales está compuesto un sistema de comunicación completo, como son: las antenas, mixers o mezcladores, convertidores A/D, y especialmente los amplificadores de potencia; cabe recalcar que estos últimos generalmente presentan una distorsión no lineal tanto en amplitud (conversión AM/AM) como en fase (conversión AM/PM).

Al analizar la implementación de los algoritmos en distintas modulaciones, se observó que el paso que el paso de adaptación μ , necesario para los casos LMS, debe ser menor en cuanto la modulación sea mayor, para observar un correcto desempeño de los filtro dentro del canal, además para que su convergencia sea fácilmente apreciada. Además para especificar un modelo mediante el procesamiento de un algoritmo, se tiene que conocer las funciones que lo definen, en este caso Saleh requiere de función de amplitud y fase, además de constantes que se encontraron definidas por otros autores, de modo que las pruebas empezaron a partir de un

trabajo ya realizado, y se continuó con un aporte en esta rama de las Telecomunicaciones.

REFERENCES

- [1] DINIZ, Paulo S. R.(2008). "Adaptative Filtering Algorithms and Practical Implementation". (3ra Ed.).
- [2] Vassilis K, & Georgios B.(2011). "Sparse Volterra and Polinomyal Regression Models: Recoverality and Estimation", *IEEE Trans on signal processing*, vol 59, N° 12.
- [3] SALEH, A. (1981). "Frequency-Independent and Frequency-Dependent Nonlinear Models of TWT Amplifiers", *IEEE Transactions on communications*, vol. com-29, no. 11.
- [4] OGUNFUNMI T, & DRULLINGER T. "Equalization of Non-Linear Channels Using a Volterra Based Non-Linear Adaptive Filter", *IEEE Trans on signal processing*.