

# Compresión LZW en un sistema de comunicaciones MIMO inalámbrico

R. Ibarra-Hernandez, J. Flores-Troncoso, E. García-Domínguez  
H. Gamboa Rosales y L. Soriano-Equigua

## *LZW compression in a MIMO wireless communication system*

Recibido: julio 20, 2013  
Aceptado: agosto 13, 2013

Palabras clave: Compresion; MIMO; inalámbrico

### **Abstract:**

*In this paper a LZW type data compression is implemented, taking advantage of the repeating patterns that arise by modulation of bits of information through the QPSK scheme. The algorithm used is dynamic, because they are computed simultaneously the output codes and the new entries for the formation of a dictionary, which, by having these features is known as semi-adaptive type and they do not need to be known by the receiver. Then the data is remodulated and transmitted through a MIMO wireless channel, where we have implemented the space-time coded proposed by Alamouti as a solution to the effects of fading. The algorithm has been implemented on MATLAB software to simulate the system and compare its performance against a traditional scheme.*

**Keywords:** Compresion; MIMO; wireless.



DEMÁS de mitigar los efectos del canal de radio, los sistema de comunicación inalámbricos actuales tienen la tarea de transmitir la mayor cantidad de información útil en la menor cantidad de tiempo posible [1]. Esta característica tiene que ver con la eficiencia espectral que presenta el sistema, dada en bits por segundo por hertz. Sin embargo, el ancho de banda disponible parece no ser suficiente y limita la encomienda mencionada anteriormente. He aquí entonces uno de los más importantes retos para la comunicación inalámbrica moderna: lograr rapidez en la transmisión de los datos sin limitarse debido a las características del canal radio eléctrico [2].

Las técnicas MIMO (por sus siglas en Inglés *Multiple Input, Multiple Output*) mediante el concepto de diversidad han visto una solución para incrementar la eficiencia espectral, con ello se ha dado soporte en velocidad a aplicaciones que así lo han requerido. Sin embargo, algunas de estas técnicas tienen como función principal el combatir los efectos del desvanecimiento de canal, con lo que la capacidad del sistema en términos de la velocidad en la transmisión y eficiencia espectral parecen no ser prioritarios. Este es el caso de

la propuesta de Alamouti[3], la cual mejora el rendimiento en presencia de desvanecimientos pero no posee una gran capacidad al no tratarse de una técnica de multicanalización espacial.

-----

Uno de los más importantes  
retos para la comunicación  
inalámbrica moderna es lograr  
rapidez en la transmisión de los  
datos sin limitarse debido a las  
características del canal radio  
eléctrico

-----

En los esquemas de modulación que comúnmente emplean los sistemas inalámbricos de comunicaciones se presentan patrones repetitivos, esto representa una ventaja porque a partir de dichas redundancias se podrá obtener información realmente útil, con lo que los símbolos ya generados tras modular los bits de la fuente de datos pueden reducirse en longitud y con ello ser comprimidos. Aprovechando los conceptos de información y entropía al conocer que existirán patrones repetitivos en los símbolos [4] modulados, es posible, mediante una técnica de compresión sin pérdidas, transmitir solamente información útil [5], [6]. Lo anterior dependerá de cuan variante sea la constelación de símbolos empleada y qué tan larga sea la trama de los mismos.

## DESARROLLO DEL SISTEMA

Si una secuencia de bits se proyecta en codificado Gray a un esquema de modulación QPSK se forman patrones repetitivos a la salida del modulador, los cuales pueden aprovecharse para hacer una compresión tipo Lempel-Ziv-Welch (LZW) [7, 8] y [9]. Con esto se pueden enviar realmente tramas de símbolos QPSK de menor longitud que podrán ser reconstruidas sin pérdidas en el receptor.

## Método de compresión LZW

El algoritmo LZW proviene de una mejora propuesta por Terry Welch (1984) a los algoritmos propuestos por Abraham Lempel y Jacob Ziv. Se trata de un método de compresión sin pérdidas, ya que los datos cifrados pueden ser perfectamente reconstruidos en el receptor.

La ventaja de LZW radica en su dinamismo, ya que a la vez realiza la codificación de los datos y la generación de nuevas entradas, creando un diccionario de tipo semi-adaptativo que no requiere ser conocido por el receptor. Los patrones repetitivos forman una tabla para codificar, donde para cada entrada podrán agruparse varios símbolos concatenados. Este arreglo llamado *diccionario* o *tabla de patrones* es necesaria para asignar el código correspondiente. Con lo anterior se puede asignar código a una mayor cantidad de símbolos que como se designaría normalmente. Es decir, a dos símbolos se les pudiese otorgar el mismo código en longitud que se asignaría a uno solo normalmente, a tres o cuatro lo de dos, entre otras cosas que puedan presentarse. Con esta reducción se tiene la compresión correspondiente, la longitud final de código propicia que se reduzca la cantidad de símbolos iniciales. El siguiente pseudocódigo muestra el proceso de la codificación de los datos.

Como lo indica el algoritmo 1, las correspondientes entradas al diccionario son formadas generalmente por el arreglo  $\omega k$ , el cual irá creciendo en longitud cuando se haya comparado con todas las entradas anteriores y no sea diferente a alguna de ellas. La descompresión resulta un poco más complicada, dado que el diccionario vuelve a ser formado y no es conocido previamente por el receptor a partir de las entradas formadas por  $\omega k$ . Cabe resaltar que se conoce solamente el alfabeto inicial de símbolos. Las variables *CODE*, *OLDcode*, y *FINsim* son las auxiliares para formar nuevamente el diccionario. Debe preverse si la entrada asignada a *CODE* aún no ha sido formada en la tabla de patrones, para lo cual las entradas anteriores serán auxiliares en la formación de dicha entrada.

El algoritmo 2 muestra el proceso de la descompresión o descifrado de los datos.

---

**Algoritmo 1** Compresión LZW

---

1:  $w=[], k=[];$   
 2: Inicializar la tabla o diccionario que contendrá los patrones  
 3: Leer el primer símbolo  $\rightarrow$  asignarlo a  $\omega$   
 4: **repetir**  
 5: Leer el siguiente símbolo  $k$   
 6: **si** no hay siguiente símbolo  $k$  que leer en la trama **entonces**  
 7: Asignar código a  $\omega \rightarrow$  salida;  
 8: SALIR;  
 9: **fin si**  
 10: **si**  $\omega k$  existe en el diccionario: **entonces**  
 11:  $\omega k = \omega$ , repetir  
 12: **de otra forma, si**  $\omega k$  no existe en el diccionario **entonces**  
 13: Asignar código a  $\omega \rightarrow$  salida;  
 14: Agregar  $\omega k$  al diccionario;  
 15:  $k \rightarrow \omega$ ;  
 16: **fin si**  
 17: **hasta que** no queden símbolos por codificar

---



---

**Algoritmo 2** Descompresión LZW

---

1: Primer código de entrada  $\rightarrow$  CODE  $\rightarrow$  OLDcode  
 2: Teniendo CODE =  $code(k)$ ,  $k \rightarrow$  salida;  
 3:  $k \rightarrow$  FINsim  
 4: Siguiendo código de entrada  $\rightarrow$  CODE  $\rightarrow$  INcode  
 5: **si** no hay nuevo código **entonces**  
 6: SALIR;  
 7: **si** CODE no está definido en el diccionario: **entonces**  
 8: FINsim  $\rightarrow$  salida;  
 9: OLDcode  $\rightarrow$  CODE;  
 10:  $code(OLDcode, FINchar) \rightarrow$  INcode;  
 11: **fin si**  
 12: **fin si**  
 13: **si** CODE = CODE( $\omega k$ ) **entonces**  
 14: apilar  $k \rightarrow$  pila  
 15: CODE( $\omega$ ) = CODE;  
 16: Ir al siguiente símbolo  
 17: **fin si**  
 18: **si** CODE =  $code(k)$  **entonces**  
 19:  $k \rightarrow$  salida;  
 20:  $k \rightarrow$  FINchar;  
 21: **fin si**  
 22: **mientras** La pila no esté vacía **hacer**  
 23: Parte superior de la pila  $\rightarrow$  salida;  
 24: Retirar elemento apilado  
 25: OLDcode;  
 26: K  $\rightarrow$  diccionario  
 27: INcode  $\rightarrow$  OLDcode  
 28: Ir al siguiente código  
 29: **fin mientras**

---

## Modelo del sistema

Por simplicidad, se emplean para este proceso  $M_t = 2$  antenas transmisoras y  $M_r = 1$  antena receptora.

La figura 1 muestra el diagrama a bloques del proceso completo del sistema de codificación con una etapa de compresión de símbolos QPSK y remodulados para ser transmitidos en un canal con múltiples antenas transmisoras y múltiples antenas receptoras (MIMO) por medio del esquema de Alamouti [3].

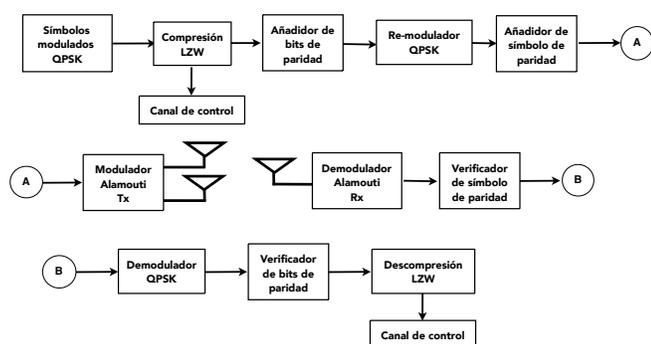


Figura 1. Diagrama a bloques del sistema propuesto.

Las etapas de paridad de bit y símbolo se aplican cuando el código de bits de salida y los símbolos remodulados tengan una longitud impar. Esto es necesario al remodular por QPSK ya que se toman pares de bits y en la transmisión por Alamouti se emplean dos antenas tomando también pares de símbolos en el codificado. En la primer etapa, el compresor LZW de símbolos QPSK aprovecha los patrones repetitivos que ha generado esta cadena para volverlos a codificar en una cantidad de bits menor a la originalmente transmitida. Posteriormente se verifica si la trama de bits resultante tras comprimir es par o non. Si es par se añaden dos ceros al final de la misma para distinguir que ya terminó. Mientras que cuando la longitud de la trama es impar se añadirán tres ceros para darle una longitud siempre par. Siendo la trama par, los bits son remodulados nuevamente en QPSK. Se deberá ahora verificar si la cantidad resultante de símbolos fue o no par. Si no se cumple esto se añadirá un símbolo de paridad para tener coherencia con el transmisor Alamouti. Por ejemplo, sea un conjunto de símbolos QPSK a la salida

de un modulador digital definido como:

$$s_1 s_1 s_1 s_3 s_3 s_1 s_4 s_3 s_3 s_1 s_4 s_4 s_4 s_4 s_3 \quad (1)$$

La longitud de la trama dada por la expresión (1) es de 16 símbolos y el diccionario formado por los patrones repetitivos se presenta en la tabla (1), donde se comienza a numerar desde el cero para tener la menor cantidad de bits posibles en los códigos de salida.

Tabla 1. Diccionario formado por los patrones repetitivos de la trama QPSK original.

Patrón	Código asignado
$s_1$	0
$s_2$	1
$s_3$	2
$s_4$	3
$s_1 s_1$	4
$s_1 s_1 s_3$	5
$s_3 s_3$	6
$s_3 s_1$	7
$s_1 s_4$	8
$s_4 s_3$	9
$s_3 s_3 s_1$	10
$s_1 s_4 s_4$	11
$s_4 s_4$	12
$s_4 s_4 s_4$	13
$s_4 s_4 s_3$	14

De la Tabla (1) se observa que cada una de las entradas del diccionario son diferentes, se inicializa con el alfabeto que ya conocemos y se alarga la longitud de cada entrada según la aparición de cada patrón. Por ejemplo, la cadena  $s_1 s_1$  se encuentra nuevamente para la entrada del código 5, por lo que se amplía a 3 caracteres ( $s_1 s_1 s_3$ ) empleando el siguiente símbolo de la trama inicial. El bloque seguirá incrementando su longitud para crear un patrón que sea diferente a los demás que ya se habían creado.

El código de salida corresponde a los índices del diccionario que contienen los patrones formados por la trama (1), para este caso es dado como:

$$0 \ 4 \ 2 \ 2 \ 0 \ 3 \ 6 \ 8 \ 3 \ 12 \ 9 \quad (2)$$

Se observa de la expresión (2) que los códigos mayores a 3 contienen los patrones de la tabla (1). Estos códigos se convierten a binario y se separan en pares de bits para ser re-modulados por QPSK. Las expresiones (3)-(5) expresan los códigos convertidos a binario, separados en pares de bits y la nueva cadena de símbolos.

$$0\ 100\ 10\ 10\ 0\ 11\ 110\ 1000\ 11\ 1100\ 1001 \quad (3)$$

$$01\ 00\ 10\ 10\ 01\ 11\ 10\ 10\ 00\ 11\ 11\ 00\ 10\ 01 \quad (4)$$

$$s_2\ s_1\ s_3\ s_3\ s_2\ s_4\ s_3\ s_3\ s_1\ s_4\ s_4\ s_1\ s_3\ s_2 \quad (5)$$

En (6) se indica la cantidad de bits por código generado en la cadena de la expresión (3). A esta expresión se le conocerá como canal de control y será utilizada para decodificar en el receptor.

$$1\ 3\ 2\ 2\ 1\ 2\ 3\ 4\ 2\ 4\ 4 \quad (6)$$

Los símbolos QPSK mostrados en (5) tienen una longitud menor a la trama original. Dichos símbolos se transmiten por medio del codificado de Alamouti. El medio inalámbrico para transmitir es un canal de tipo cuasi-estático, en el cual no existe movimiento relativo entre la estación base y el receptor.

Para transmitir por medio del esquema de Alamouti se toman pares de símbolos (sean  $x_1, x_2$ ) de la cadena QPSK a ser enviada, además se consideran los coeficientes  $h_1$  y  $h_2$  y los coeficientes de ruido aditivo AWGN presente en el receptor  $\eta_1$  y  $\eta_2$ . Los coeficientes  $h_i$  representan la respuesta al impulso del canal formado por la antena transmisora  $i$  y la antena receptora. Se transmiten en un primer instante de tiempo  $t$  las señales  $x_1$  y  $x_2$  por medio de la antena 1 y 2 respectivamente, en un instante  $t + T$  sus complejos conjugados tal que por una antena se transmite  $-x_2^*$  y en la otra  $x_1^*$ . El proceso continua en el transmisor hasta agotar la trama completa de símbolos QPSK.

De este modo, las señales recibidas en el receptor en los instantes de tiempo ( $t_1 = t, t_2 = t + T$ ) quedan definidas como

$$\begin{bmatrix} r_{t1} \\ r_{t2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \\ -x_2^* & x_1^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Las señales recibidas son fácilmente decodificadas en el receptor, en donde se asume un conocimiento perfecto del canal. Asumiendo un decodificado ideal y una decodificación sin errores en el receptor se tienen los símbolos de la cadena dada por la expresión (4), la cual es convertida a pares de bits por el demodulador QPSK. Es aquí donde radica la importancia del canal de control, dado por la expresión (6), éste indica cómo separar nuevamente los bits para obtener los códigos binarios de la expresión (3) y convertirlos a decimal, obteniendo el vector de códigos dado por (2).

## Descompresión de los símbolos

El vector de códigos dado en (2) tiene valores desde 0 y representará los índices del diccionario, el cual no conoce el receptor en su totalidad, solamente los valores iniciales que corresponden a los 4 símbolos QPSK.

Para el primer código de la expresión (2) se tiene una fácil decodificación, de acuerdo a la tabla inicial corresponde a  $s_1$ . Sin embargo, el segundo código aún no ha sido formado por el diccionario. Para la creación del patrón correspondiente a este código se concatena la traducción o cadena correspondiente al código anterior más su primer caracter. Para este caso solamente tenemos a  $s_1$  como traducción del primer código y como primer y único caracter. Por lo tanto el código 4 corresponderá al patrón  $s_1 s_1$ . Este procedimiento se realizará solamente cuando el código solicitado por la entrada aún no haya sido formado en el diccionario y entonces se requiere tomar como auxiliar a la entrada anterior.

Para este caso solamente requerimos realizar el procedimiento anteriormente descrito a la entrada de los códigos 4 y 12, los demás son fácilmente decodificables al ir construyendo el diccionario de la misma manera que se realizó en el transmisor. De esta manera al ir decodificando se reconstruye nuevamente la tabla de símbolos. Por tanto, se logra llegar nuevamente a la secuencia definida en (1), que es la trama original de símbolos QPSK.

La eficiencia de compresión se mide por medio de la tasa de compresión de bits, la cual se calcula al dividir la cantidad de bits compresos entre la de bits de entrada. Para el

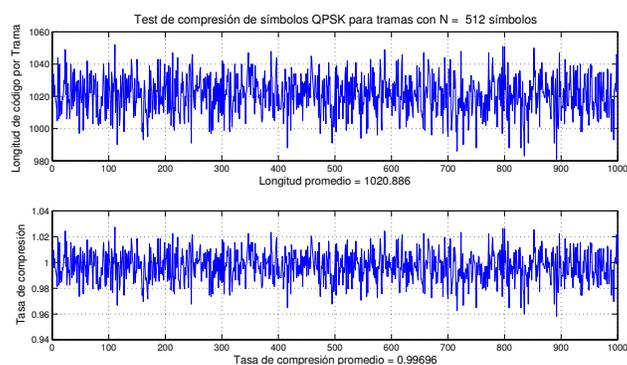
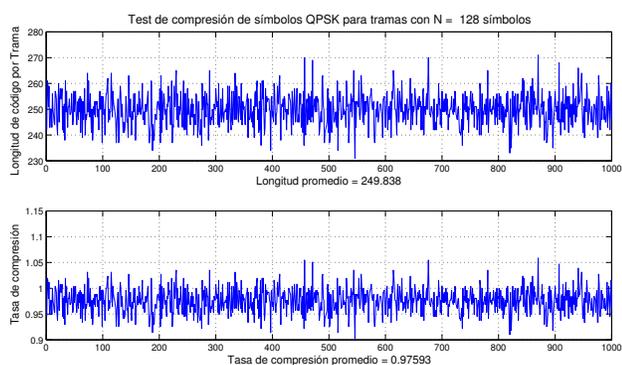


Figura 2. Prueba de compresión para tramas de 128 símbolos QPSK

Figura 3. Prueba de compresión para tramas de 512 símbolos QPSK.

ejemplo, la tasa de compresión es

$$TC = \frac{\text{Bits}_{\text{salida}}}{\text{Bits}_{\text{entrada}}} = \frac{28}{32} = 0.875 \quad (8)$$

Debemos tener en cuenta que para el ejemplo considerado no se emplearon las etapas de paridad en bit y símbolo.

## RESULTADOS NUMÉRICOS

Primeramente se muestran los resultados de la simulación en MATLAB<sup>®</sup> de la parte transmisora del esquema de la Figura 1. Esto con el fin de cuantificar y verificar que se obtiene una compresión adecuada. Posteriormente se simula el comportamiento del sistema completo para confirmar que no se han alterado las características del desempeño del sistema en términos de la tasa de error de símbolo (SER).

Para la primera prueba, en cada SNR considerada se transmiten 1000 tramas consecutivas con longitudes 128, 256, 512 y 1024 de símbolos QPSK. Entonces por cada trama se determina la longitud de la cadena de bits compresada resultante. También se calcula para cada uno de estos valores la tasa de compresión. Enseguida se calculan los valores promedio de longitud de bits y tasa de compresión.

En la Figura 2 se muestra que para la trama de 128 símbolos QPSK se tuvo una longitud de bits promedio de 250 bits, o bien 125 nuevos símbolos QPSK, dando de esta manera una tasa de compresión promedio de 0.97593, que resulta en un ahorro promedio de 6 bits o 3 símbolos por trama en promedio. De manera similar, para la trama de 256 símbolos, se

obtuvo una longitud promedio de 506 bits de información transmitida, con lo cual se calculó una tasa promedio de compresión de 0.98833. El ahorro en promedio para esta trama es de 6 bits o 3 símbolos por trama, al igual que con 128 símbolos.

En la Figura 3 se muestra la prueba de compresión para una trama de 512 símbolos QPSK. Se obtuvo una longitud promedio de 1021 bits. Se calculó una tasa promedio de compresión de 0.99696. El ahorro obtenido en promedio fue menor que con las tramas anteriores, para este caso fue de 3 bits en promedio por trama.

La última simulación fue para una trama de 1024 símbolos (2048 bits). Los resultados no fueron favorables, ya que la longitud promedio de bits compresados resultó ser mayor a la original (2052 bits). Esto se puede atribuir a que la efectividad del código LZW radica en la abundancia de patrones repetitivos, y por inducción se puede observar que a mayor cantidad de caracteres o símbolos de entrada habrá mayor probabilidad de que esto ocurra.

De las simulaciones dadas por estas gráficas se toma la trama de 256 símbolos, ya que es de la más óptima para la compresión. Ahora se realiza el proceso completo descrito por el diagrama de bloques de la Figura 1, y se compara contra tramas sin comprimir. En el receptor se calcula la SER y se grafica contra diferentes SNR definidas de 2 a 20 dB. La Figura 4 muestra los resultados obtenidos.

La simulación fue realizada sobre un canal que permanece constante durante la transmisión de la trama (es decir,  $h_1$  y

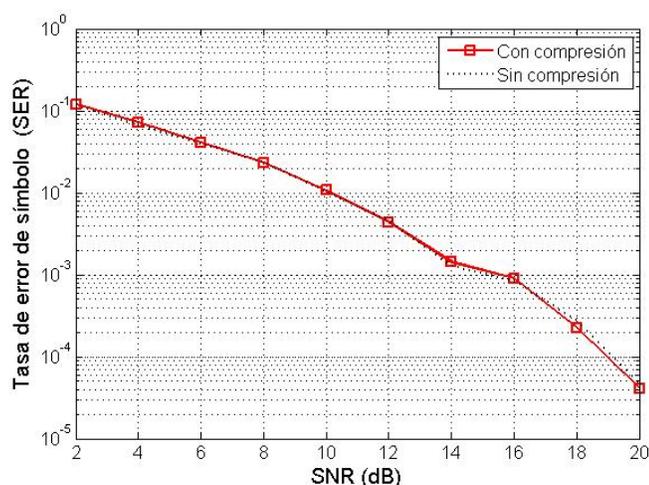


Figura 4. Comparación de la tasa de error de símbolo al aplicar compresión LZW a las tramas de símbolos QPSK contra tramas de símbolos QPSK sin comprimir.

$h_2$  no cambian) y el desvanecimiento obedece a una distribución de tipo Rayleigh, sin considerar multirrayectos. De la Figura 4 se puede observar que las tramas QPSK de símbolos con y sin compresión LZW tuvieron la misma eficiencia al pasar a través de un canal MISO. Por lo tanto, los resultados de compresión obtenidos son relevantes para una trama de estas características.

## CONCLUSIONES

En el presente trabajo se propone una compresión de símbolos modulados en QPSK tipo LZW, los cuales se transmiten a través de un canal inalámbrico MIMO. Se ha aprovechado la naturaleza de la modulación QPSK para crear a partir de ahí una fuente discreta y sin memoria, dado que los valores de los símbolos se dan en instantes discretos de tiempo y no existe memoria alguna que determine el comportamiento de los demás símbolos que se generaron debido a que se codificaron a partir de un archivo fuente de la misma naturaleza.

Esta fuente o trama original contiene patrones repetitivos que son aprovechados para comprimirse con LZW formando a partir de ellos un diccionario o tabla de strings

cuyos índices darán los códigos necesarios como si fuese un archivo común.

Sin embargo, la cantidad de bits a la salida, dada por la conversión a binario de los códigos, no siempre resulta par, es necesario hacer la paridad de esta cadena agregando más bits, esto con el fin de re-modularlos a una nueva cadena de menor longitud (que no siempre resulta serlo) y que sea también QPSK.

Al igual que con la cantidad de bits, la nueva cantidad de símbolos formada requiere paridad para su modulación a Alamouti. Los anteriores casos dan un factor de riesgo en el ahorro de bits y símbolos.

Otro factor que pone en riesgo la efectividad de la compresión es la variabilidad de las longitudes de código, esto se puede observar desde que en la cadena compresada haya códigos decimales muy grandes. El canal de control que se propone trata de reducir el efecto de esta variabilidad.

Se pretende mediante el presente trabajo dar una apertura hacia la implementación en hardware de este sistema, ya que en software los tiempos de cálculo que se obtuvieron para las diversas simulaciones resultaron ciertamente lentos. Según el artículo publicado por Terry Welch en 1987 las técnicas de hardware para la implementación de este algoritmo resultarían más efectivas en comparación de tiempos de cálculo.

En los trabajos futuros también se tienen como objetivos mejorar las técnicas en el canal de control y la variabilidad en la longitud de los códigos resultantes con la finalidad de que el receptor realice el decodificado conociendo la menor cantidad de información del transmisor posible.

## Bibliografía

- [1] H. Jafarkhani, Space-Time Coding. Theory and practice. Cambridge University Press, 2005.
- [2] J. F. Troncoso, Sistemas de Comunicación de Datos, 1st ed., Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma de Zacatecas, January 2005.
- [3] S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," IEEE Journal on

Selected Areas in Communications, pp. 1451-1458, 1998.

- [4] T. A. Welch, "A technique for high-performance data compression," IEEE J. Selected Areas in Comput., pp. 8-19, June 1984.
- [5] D. A. Huffman, "A method for the construction of minimum redundancy codes," Proceedings of IRE, vol. 40, pp. 1098-110, 1952.
- [6] K. R. Kolhe, P. R. Devale, and P. Shrivastava, "High performance lossless multimedia data compression through improved dictionary," International Journal of Computer Applications, vol. 10, no. 1, pp. 29-35, November 2010, published By Foundation of Computer Science.
- [7] J. Ziv and A. Lempel, "A universal algorithm for sequential data compression," IEEE Trans. Information Theory, pp. 337-343, May 1977.
- [8] —, "Compression of individual sequences via variable-rate coding," IEEE Trans. Information Theory, p. 5306, Sept. 1978.
- [9] P. M. Nishad and R. M. Chezian, "Optimization of lzw algorithm to reduce time complexity for dictionary creation in encoding and decoding," Asian J. of Computer Science and Information Technology, pp. 114-118, 2012.

## Acerca del autor o autores

Roilhi F. Ibarra-Hernández: Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica por la Fac. de Ingeniería Eléctrica de la UAZ en el 2012. Actualmente estudia la Maestría en Ciencias en Electrónica y Telecomunicaciones en el CICESE. Su área de interés es el procesamiento de señales para sistemas de comunicaciones inalámbricos.

Jorge Flores-Troncoso: Se graduó de Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica en la Fac. de Ingeniería de la UAZ en 1992. Realizó sus estudios de Maestría y de Doctorado en Ciencias con orientación en Telecomunicaciones en el CICESE. Actualmente es Profesor-Investigador de tiempo completo en la UAZ.

Ernesto García-Domínguez: Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica por la Fac. de Ingeniería de la UAZ en 1990. Maestro en Ciencias con especialidad en Electrónica y Telecomunicaciones en el CICESE. Actualmente Profesor-Investigador de tiempo completo en la UAZ.

Hamurabi Gamboa Rosales: Recibió su grado de Licenciatura en Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones por parte de la Universidad Autónoma de Guadalajara. Maestro en Ingeniería Eléctrica por la Universidad de Guanajuato. Doctorado por la Dresden University of Technology, Alemania. Sus principales áreas de interés son el procesamiento de señales de voz, comunicaciones inalámbricas, ubicación de recursos e ingeniería en software embebido.

Leonel Soriano Equigua: Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica por la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad de Colima, Maestro en Ciencias y Doctorado en Ciencias con especialidad de Telecomunicaciones por CICESE. Actualmente Profesor e Investigador de tiempo completo en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad de Colima.