

Marca de Agua en Imágenes DICOM para la Autenticación del Registro Electrónico del Paciente

María Teresa Quiñonez C., Clara Cruz R., Rogelio Reyes R.

Instituto Politécnico Nacional, ESIME Unidad Culhuacán

Av. Santa Ana No. 1000, Col. San Francisco Culhuacán, CP. 04440, México, Ciudad de México

Tel. (55) 5729-6000, Fax (55) 56562058

e-mail: mquinonezc1500@alumno.ipn.mx, ccruzra@ipn.mx, rreyesre@ipn.mx

Resumen— Actualmente el estándar de imagen digital y comunicación en medicina (DICOM) es empleado por profesionales de la salud, ya que facilita la gestión, almacenamiento e impresión de estudios realizados. Estos archivos contienen datos clínicos de los pacientes que son importantes para el diagnóstico y tratamiento de una gran cantidad de enfermedades [1]. Sin embargo, existen riesgos para los datos o registros electrónicos del paciente (EPR), ya que su modificación podría provocar un diagnóstico erróneo o un uso malintencionado del estudio [2]. En este artículo se propone un sistema que autentique la información del EPR de una imagen en formato DICOM, mediante la inserción de una marca de agua en los coeficientes de la sub-banda de baja frecuencia (LL), en el dominio de la transformada discreta wavelet (DWT) de la imagen DICOM; antes de realizar la inserción de la secuencia binaria del EPR que representa la marca de agua, la información del paciente es cifrada empleando el mapa caótico del seno para incrementar la seguridad. Los resultados experimentales demuestran una alta preservación del contenido de la imagen DICOM original, obteniéndose valores en las métricas de calidad de 69.96 dB y 0.9997 respectivamente para la relación señal a ruido pico (PSNR) y el índice de similitud estructural (SSIM).

Palabras clave— Registro Electrónico del Paciente (EPR), Imágenes DICOM, Marcas de Agua, Autenticación, Transformada Discreta Wavelet (DWT).

I. INTRODUCCIÓN

Con el crecimiento exponencial de la tecnología y la aplicación de imágenes digitales en las áreas de comunicación, el diagnóstico convencional en hospitales ha evolucionado en un diagnóstico asistido por computadoras. Los sistemas de información hospitalaria (HIS) y los sistemas de imágenes médicas, generan datos que son gestionados mediante el estándar DICOM [3]. El estándar de imagen digital y comunicación en medicina DICOM fue desarrollado para transferir, almacenar y recuperar información de la imagen médica de forma estandarizada y así proporcionar flexibilidad en el diagnóstico médico [4].

En el encabezado del archivo DICOM se almacena información importante sobre el paciente que formará parte de su registro electrónico (EPR), dicha información se puede perder, atacar o alterar sustituyéndola por la de otro archivo [5].

Las marcas de agua son una de las tecnologías más recientes para verificar la integridad y autenticidad del contenido digital. Recientemente la autenticación de imágenes médicas se ha convertido en una de las principales prioridades de esta área. Las marcas de agua en imágenes médicas se pueden dividir en tres principales categorías: técnicas de ocultamiento de datos (para ocultamiento del EPR), técnicas de autenticación (incluyendo detección de alteraciones y recuperación) y técnicas híbridas de autenticación y ocultamiento de datos [6].

II. ANTECEDENTES

En [7] se propone un método para la inserción de una marca de agua en la imagen DICOM que contiene el EPR del paciente al que pertenece el estudio, en donde la imagen se divide en bloques de 8x8 píxeles no traslapados, a cada bloque se le aplica la transformada coseno discreta (DCT), después se eligen los dos coeficientes DCT de frecuencia media para insertar un bit del EPR cifrado. La información del EPR del paciente se cifra usando un sistema dinámico no lineal de tiempo discreto (NLDS). La principal aportación de este método es la consideración de dos factores de inserción, uno fijo y otro adaptativo que depende del valor promedio del bloque respectivo.

En [8] se proponen dos métodos para la inserción de una marca de agua en la imagen DICOM. En el primer método la imagen se divide en bloques de 8x8 píxeles no traslapados, a cada bloque se le aplica la transformada coseno discreta y se seleccionan dos coeficientes para insertar los bits del EPR del paciente usando un factor de escala K . En el segundo método se separa la región de interés (ROI) y la región de no interés (RONI) usando un umbral de color, el EPR del paciente se inserta solamente en la RONI y el proceso de inserción es el mismo que en el primer método. La principal aportación de

este método es la consideración de dos propuestas para distintas aplicaciones.

En [9] se propone un método basado en la transformada discreta wavelet para la inserción de una marca de agua en la imagen DICOM que contiene el EPR del paciente al que pertenece el estudio, la imagen se transforma en sub-bandas de frecuencias mediante la transformada wavelet discreta y la sub-banda LL de baja frecuencia, se segmenta en bloques de 3x3 píxeles no traslapados, se realiza un análisis de los píxeles del bloque y se genera un bit que resume sus características. El EPR del paciente en forma de imagen binaria se cifra con un mapa logístico, dicha imagen se compara bit a bit con el bit característico del bloque, si es diferente se modifica el valor de un píxel del bloque. La principal aportación de este método es que la marca de agua no se inserta totalmente puesto que algunos bits de la marca ya se encuentran dentro de la imagen lo cual aumenta la calidad de la imagen marcada.

La mayoría de los sistemas propuestos se enfocan en la inserción de una imagen binaria en la imagen original, sin embargo, esto incluye píxeles que no aportan información importante, además de que al insertar una imagen se requiere ocultar más bits dependiendo de la resolución del texto y de la robustez de la marca. En el presente trabajo se propone un método para la inserción del EPR en la imagen DICOM como marca de agua, la cual servirá para la posterior autenticación. La información se cifra con el mapa caótico del seno y se inserta en los coeficientes de la sub-banda de baja frecuencia LL aplicando la transformada wavelet discreta (DWT) a la imagen original y dividiendo dicha sub-banda en bloques de 3x3 píxeles no traslapados.

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera, en la sección III se presenta el sistema propuesto, en la sección IV se presentan las pruebas y resultados del sistema, finalmente, en la sección V se presentan las conclusiones generales.

III. SISTEMA PROPUESTO

La Fig. 1 muestra el diagrama a bloques general del sistema propuesto que consiste en tres etapas principales: a) Generación del mapa caótico, b) Inserción de marca de agua, y c) Autenticación de la información.



Fig. 1. Diagrama a bloques general del sistema propuesto.

A. Generación del mapa caótico

El bloque de *Generación del mapa caótico* recibe una llave k para generar una secuencia binaria pseudoaleatoria MCS_B , dicha secuencia servirá para cifrar la información del EPR. El método de generación está basado en la técnica de mapa caótico del seno.

La llave k se utiliza como semilla para la generación de un vector con valores pseudoaleatorios y posteriormente se modifica empleando (1):

$$x_m = r \times \sin(\pi \times x_n), \quad (1)$$

donde x_m es el vector de salida, x_n es el vector con valores pseudoaleatorios y $r \in (0,1]$ es el parámetro inicial. Para esta propuesta de solución se utilizó un valor de $r = 0.99$ debido al comportamiento del mapa caótico. En la Fig. 2 se muestra el diagrama de bifurcación del mapa caótico del seno.

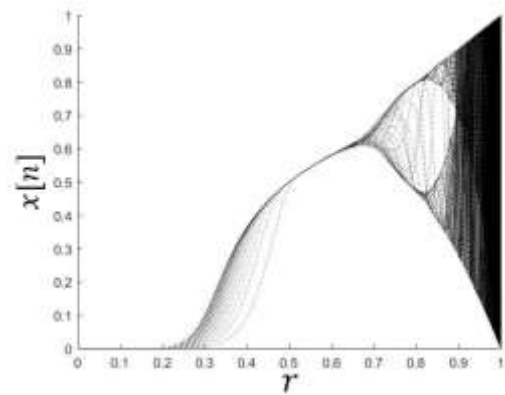


Fig. 2. Diagrama de bifurcación del mapa caótico del seno del sistema propuesto.

Se crea un mapa caótico del seno binario empleando (2):

$$MCS_B = \begin{cases} 1, & \text{si } x_n \geq U \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}, \quad (2)$$

donde MCS_B representa una secuencia binaria, x_n representa el valor de salida de (1) y U es el umbral que se calcula empleando (3):

$$U = \min(x_m) + \frac{\max(x_m) - \min(x_m)}{2}, \quad (3)$$

donde $\max(x_m)$ representa el valor máximo y $\min(x_m)$ representa el valor mínimo del vector obtenido en (1).

B. Inserción de la marca de agua

El bloque de *Inserción de la marca de agua* realiza un procesamiento del *Archivo DICOM*, para obtener a la salida un *Archivo DICOM marcado* como se muestra en la Fig. 3. El

método de inserción está basado en la técnica de la transformada discreta wavelet y en operaciones XOR.

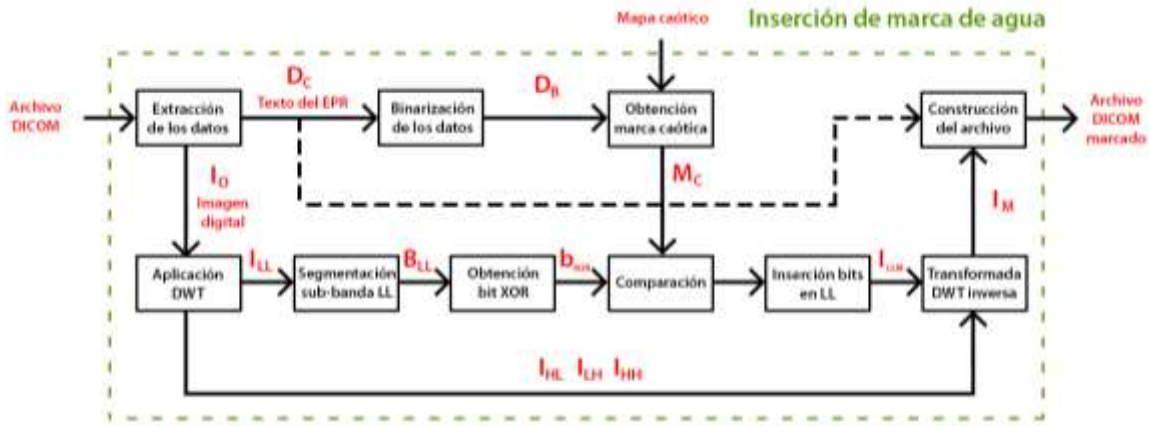


Fig. 3. Diagrama a bloques de la etapa de inserción de marca de agua.

El bloque recibe como entrada un *Archivo DICOM* y se procesan por separado la imagen I_O y los metadatos D_C . Los metadatos se insertan en la imagen de la siguiente manera:

- 1) El EPR (D_C) se convierte en código ASCII y posteriormente se representa en forma binaria de 8 bits D_B .
- 2) Se realiza una operación XOR bit a bit entre la información binaria D_B y el mapa caótico MCS_B empleando (4):

$$M_C = D_B \oplus MCS_B, \quad (4)$$

donde M_C es la marca caótica, D_B el EPR en forma binaria y MCS_B la secuencia binaria caótica.

- 3) A la imagen I_O se le aplica la DWT para descomponerla en sub-bandas de frecuencias LL, LH, HL y HH .
- 4) Se toma la sub-banda de baja frecuencia LL y se segmenta en bloques de 3x3 píxeles no traslapados B_{LL} .
- 5) Se calcula la diferencia entre los valores de los píxeles vecinos y el píxel central de cada bloque empleando (5):

$$dg_i = pv_i - pc, \quad (5)$$

donde dg_i son las diferencias de grises, pc es el píxel central, pv_i son los píxeles vecinos e $i = 1, 2, \dots, 8$.

- 6) Se crea un vector binario empleando (6):

$$vb_i = \begin{cases} 1, & \text{si } dg_i \geq 0 \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}, \quad (6)$$

donde vb_i representa el vector con valores binarios, dg_i son las diferencias grises del bloque e $i = 1, 2, \dots, 8$.

- 7) Se obtiene un bit característico del bloque empleando (7):

$$b_{XOR} = vb_1 \oplus vb_2 \oplus vb_3 \oplus \dots \oplus vb_8, \quad (7)$$

donde b_{XOR} representa el bit característico, vb_i representa el vector binario obtenido en (6) e $i = 1, 2, \dots, 8$.

- 8) Se compara el bit b_{XOR} con un bit de la marca caótica M_C empleando (8):

$$C = \begin{cases} 1, & \text{si } M_C = b_{XOR} \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}, \quad (8)$$

donde C representa la comparación.

- 9) Si $C = 1$ ningún píxel de ese bloque se modifica y se procede a la inserción del siguiente bit de marca de agua en el siguiente bloque de LL . Si $C = 0$ se modifica el valor de un píxel en ese bloque para hacer consistente que $M_C = b_{XOR}$ de la siguiente manera:

- i) Se encuentra el valor mínimo de las diferencias de grises absolutas empleando (9):

$$mdg = \min(|dg_i|), \quad (9)$$

donde mdg es el valor mínimo de las diferencias absolutas, dg_i son las diferencias grises de los píxeles con respecto al píxel central del bloque e $i = 1, 2, \dots, 8$.

- ii) De los píxeles vecinos del bloque, se elige el píxel que haya dado la mínima diferencia absoluta pv_{min} .

- iii) El valor gris de ese píxel se modifica empleando (10):

$$pv_n = \begin{cases} (pv_{min} - mdg) - \beta, & \text{si } vb_{min} = 1 \\ (pv_{min} - mdg) + \beta, & \text{si } vb_{min} = 0 \end{cases}, \quad (10)$$

donde pv_n representa el valor gris modificado del píxel pv_{min} , vb_{min} representa el valor del bit asignado de acuerdo con el signo de la diferencia gris, la cual se obtiene entre el valor pv_{min} y pc . β es el factor de escala.

- 10) Se aplica la transformada wavelet inversa a las sub-bandas LL, LH, HL y HH para obtener la imagen marcada I_M .

- 11) Se realiza la construcción del archivo con I_M y D_C , obteniendo el *archivo DICOM marcado*.

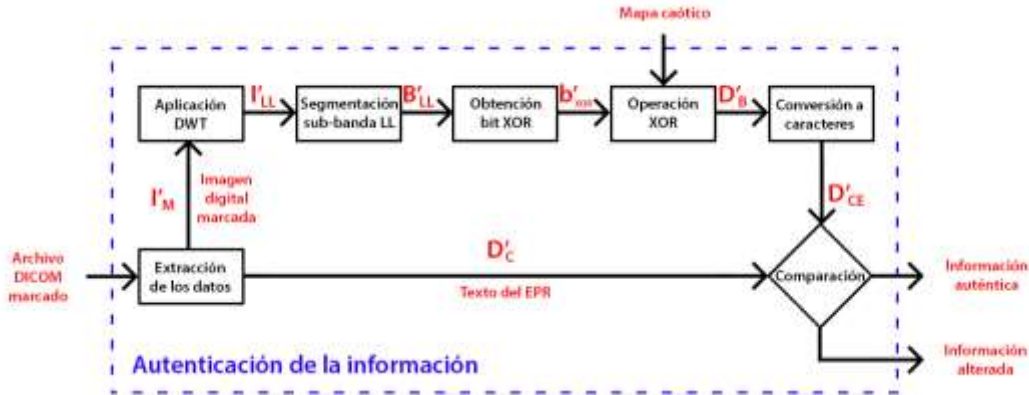


Fig. 4. Diagrama a bloques de la etapa de autenticación de la información.

C. Autenticación de la información

El bloque de *Autenticación de la información* realiza un procesamiento del *Archivo DICOM marcado* y hace una comparación entre el EPR del archivo y el EPR extraído de la imagen para verificar si la información es auténtica, tal como se muestra en la Fig. 4.

El sistema recibe como entrada un *Archivo DICOM marcado* al cual se le extraen los metadatos D'_C y la imagen digital marcada I'_M del estudio realizado y los procesa cada uno por separado. La autenticación se realiza de la siguiente manera:

- 1) A la imagen I'_M se le aplica la DWT para descomponerla en sub-bandas de frecuencias LL, LH, HL y HH .
- 2) Se toma la sub-banda de baja frecuencia LL y se segmenta en bloques de 3×3 píxeles no traslapados B'_{LL} .
- 3) En cada bloque de B'_{LL} se calculan las diferencias de grises empleando (5).
- 4) Se crea un vector binario empleando (6).
- 5) Se aplica la operación XOR al vector binario para obtener el bit característico del bloque empleando (7).
- 6) Se realiza operación XOR bit a bit entre el bit característico del bloque b'_{XOR} y el mapa caótico del seno MCS_B y se obtienen los datos EPR en binario D'_B .
- 7) Los datos en su forma binaria D'_B se agrupan en cadenas de 8 bits para después realizar la conversión a código ASCII y finalmente hacer la conversión a caracteres D'_{CE} .
- 8) Se comparan los datos extraídos D'_{CE} con los datos del archivo DICOM D'_C si coinciden significa que no hubo alteración y que la información es auténtica, de lo contrario la información del archivo sufrió algún tipo de alteración.

IV. PRUEBAS Y RESULTADOS

Para la evaluación del sistema se utilizaron diferentes estudios; el primer archivo contiene 96 imágenes de 512×512 píxeles, el segundo contiene 17 imágenes de 512×512 píxeles ambos son estudios de rayos X de angiogramas, el tercer archivo contiene una imagen de 1024×1024 píxeles de un

estudio de rayos X de fluoroscopia. Las pruebas consisten en la evaluación de dos características importantes en la imagen marcada: a) calidad de la imagen marcada y b) tasa de error en los caracteres

extraídos. Para la primera prueba se emplearon las métricas del PSNR (dB) y SSIM, para la segunda se calcula el porcentaje de caracteres erróneos extraídos.

A. Calidad de la imagen marcada

En esta prueba se evalúa la calidad de la imagen marcada I'_M . La Tabla I muestra los resultados obtenidos al evaluar la calidad de las imágenes marcadas. La evaluación de las imágenes marcadas I'_M se realizó comparándolas con sus respectivas imágenes originales I_O . Como se puede observar, el sistema propuesto genera imágenes de calidad, obteniendo un PSNR arriba de los 60 dB.

TABLA I. PSNR DE LAS IMÁGENES MARCADAS (I'_M)

Estudio	Capacidad de inserción (bits)	Píxeles modificados / Bits de la marca de agua	Factor de escala (β)	PSNR	SSIM
Angiograma 1	7225	159/328	1	71.72	1.0000
			2	70.11	0.9999
			3	67.11	0.9999
			4	66.19	0.9998
			5	64.02	0.9997
Angiograma 2	7225	296/576	1	67.59	0.9999
			2	66.91	0.9998
			3	63.97	0.9995
			4	63.55	0.9995
			5	61.16	0.9989
Fluoroscopia	28,900	114/232	1	81.74	1.0000
			2	81.74	1.0000
			3	75.72	1.0000
			4	75.72	1.0000
			5	72.20	1.0000

B. Extracción de la marca de agua

En esta prueba se evalúa la extracción de la marca de agua la cual contiene los datos del EPR del paciente.

Las Tablas II, III, IV y V muestran los resultados obtenidos de las pruebas de inserción realizadas a los estudios de angiograma y al de Fluoroscopia respectivamente. En la columna de ‘EPR Extraído’ se representan con rojo los caracteres que no se extrajeron correctamente. Como se puede observar, el sistema propuesto obtuvo valores menores al 4.16% de error en los caracteres extraídos, lo que permite en todos los casos que el texto extraído sea inteligible.

TABLA II. PRUEBA DE INSERCIÓN AL ANGIOGRAMA 1

EPR Insertado	Factor (β)	EPR Extraído
19941013141917XARubo DEMO556342B19951025M	1.0	19941013141917XARubo DEMO556342B19951025M
	2.0	19941013141917XARubo DEMO556342B19951025M
	3.0	19941013141917XARubo DEMO556342B19951025M
	4.0	19941013141917XARubo DEMO556342B19951025M
	5.0	19941013141917XARubo DEMO556342B19951025M

TABLA III. PRUEBA DE INSERCIÓN AL ANGIOGRAMA 2

EPR Insertado	Factor (β)	EPR Extraído
19930325135731XA8 images of 4 biplane acqsRubo DEMO322- 292-73-619580719F	1.0	19930325135731XA8 images of 4 biplane acqsRubo DEMO322-292-63- 619580719F
	2.0	19930325135731XA8 images of 4 biplane acqsRubo DEMO322-292-73- 619580719F
	3.0	19930325135731XA8 images of 4 biplane acqsRubo DEMO322-292-73- 619580719F
	4.0	19930325135731XA8 images of 4 biplane acqsRubo DEMO322-292-73- 619580719F
	5.0	19930325135731XA8 images of 4 biplane acqsRubo DEMO322-292-73- 619580719F

TABLA IV. TASA DE CARACTERES ERRÓNEOS

Imagen	Factor (β)	Caracteres erróneos	Caracteres erróneos (%)
Angiograma 1	1.0	1/41	2.43%
	2.0	0/41	0%
	3.0	0/41	0%
	4.0	0/41	0%
	5.0	0/41	0%
Angiograma 2	1.0	3/72	4.16%
	2.0	0/72	0%
	3.0	0/72	0%
	4.0	0/72	0%
	5.0	0/72	0%
Fluoroscopia	1.0	0/29	0%
	2.0	0/29	0%
	3.0	0/29	0%

	4.0	0/29	0%
	5.0	0/29	0%

TABLA V. PRUEBA DE INSERCIÓN A LA FLUOROSCOPIA

EPR Insertado	Factor (β)	EPR Extraído
19960308RF5Rubo DEMO10-55-87F	1.0	19960308RF5Rubo DEMO10-55-87F
	2.0	19960308RF5Rubo DEMO10-55-87F
	3.0	19960308RF5Rubo DEMO10-55-87F
	4.0	19960308RF5Rubo DEMO10-55-87F
	5.0	19960308RF5Rubo DEMO10-55-87F

V. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se propone un método para la inserción de una marca de agua en la imagen de un archivo DICOM la cual contiene la información del EPR del paciente, este sistema cifra el EPR del paciente con el mapa caótico del seno y la inserción se realiza en la sub-banda de baja frecuencia LL empleando la transformada wavelet discreta (DWT). El método propuesto inserta un bit de la información cifrada en un bloque de LL de la imagen sólo si el bit característico del bloque no coincide, de lo contrario no realiza ninguna modificación porque la información ya se encuentra en la imagen. Los resultados obtenidos demuestran una excelente calidad de la imagen con marca de agua obteniendo en promedio 69.96 dB y 0.9997 respectivamente para la relación señal a ruido pico (PSNR) y el índice de similitud estructural (SSIM), lo que demuestra la imperceptibilidad de la marca de agua; además se obtuvieron valores menores al 5% de error en los caracteres extraídos, lo que permite en todos los casos que el texto extraído sea inteligible. Como trabajo futuro se propone insertar la marca de agua en las regiones de no interés RONI de la imagen médica para evitar aún más las alteraciones en los píxeles de la región de interés ROI del estudio.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Politécnico Nacional, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México, a la COFAA del IPN y a la Beca de Estimulo Institucional de Formación de Investigadores (BEIFI) del IPN por el apoyo otorgado para el desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] O. S. Pinykh, *Digital imaging and communications in medicine (DICOM): a practical introduction and survival guide*, 2nd. ed., Springer Science & Business Media, 2009. [1]
- [2] J. Seitz, *Digital watermarking for digital media*, IGI Global, 2005.
- [3] A. F. Qasim, F. Meziane, and R. Aspin, "Digital watermarking: Applicability for developing trust in medical imaging workflows state of the art review", *Computer Science Review*, vol. 27, pp. 45-60, 2018.
- [4] M. Mustra, M. Grgic, K. Delac, "Efficient Presentation of DICOM Mammography Images using Matlab", *15th International Conference on Systems, Signals and Image Processing*, Bratislava, Slovakia, June 2008.
- [5] A. K. Singh, M. Dave and A. Mohan. "Hybrid technique for robust and imperceptible multiple watermarking using medical images", *Multimedia Tools and Applications*, vol. 75, no. 14, pp. 8381-8401, 2016.
- [6] A. Tareef, A. Al-Ani, H. Nguyen and Y. Y. Chung, "A novel tamper detection-recovery and watermarking system for medical image authentication and EPR hiding" in *2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Chicago, Illinois, 2014, pp. 5554-5557.
- [7] S. A. Parah, I. Ahmad, N. A. Loan, K. Muhammad, J. A. Sheikh and G. M. Bhatm, "Realization of an adaptive data hiding system for electronic patient record, embedding in medical images", *Security in smart cities: models, applications, and challenges*, Springer, Cham, pp. 47-70, 2019.
- [8] S. A. Parah, J. A. Sheikh, F. Ahad, N. A. Loan and G. M. Bhat, "Information hiding in medical images: a robust medical image watermarking system for E-healthcare", *Multimedia Tools and Applications*, vol. 76, no. 8, pp. 10599-10633, 2017.
- [9] M. Moniruzzaman, M. A. K. Hawlader, and M. F. Hossain, "Wavelet based watermarking approach of hiding patient information in medical image for medical image authentication" in *2014 17th International Conference on Computer and Information Technology (ICIT)*, Dhaka, Bangladesh, 2014, pp. 274-378.

el grado de Doctor en Comunicaciones y Electrónica, de la ESIME Culhuacán del Instituto Politécnico Nacional en 1999, 2003 y 2009 respectivamente; recibió el Diploma a la Excelencia Académica por sus estudios de Licenciatura y la Presea Lázaro Cárdenas del IPN a Nivel Posgrado en el 2003. Actualmente es profesor titular en el Departamento de Ingeniería en Computación de la ESIME Culhuacán. Sus áreas de investigación son: procesamiento de señales y sistemas embebidos.

CURRICULUM VITAE



Maria Teresa Quiñonez C. Estudiante de la carrera de Ingeniería en Computación en el Instituto Politécnico Nacional (IPN). Participó como ponente en el VI Congreso Internacional de Robótica y Computación en mayo 2019 y en el XIX Congreso Internacional de Informática, Robótica, Mecatrónica y Tecnologías en noviembre 2019. Becaria del Estímulo Institucional de Formación de Investigadores (BEIFI) del IPN. Sus áreas de investigación son: procesamiento de imágenes y marcas de agua.



Clara Cruz R. recibió el título de Ingeniera en Comunicaciones y Electrónica, el grado de Maestra en Ciencias de Ingeniería en Microelectrónica, y el grado de Doctora en Comunicaciones y Electrónica, por el Instituto Politécnico Nacional en 1999, 2003 y 2009 respectivamente, recibió el Diploma a la Excelencia Académica por sus estudios de Licenciatura y el Diploma como Mejor Promedio de Generación a Nivel Posgrado. Actualmente es profesora titular en el Departamento de Ingeniería en Computación de la ESIME Culhuacán en el IPN. Sus áreas de investigación son reconocimiento de patrones, procesamiento de imágenes y marcas de agua.



Rogelio Reyes R. recibió el título de Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica por la opción de Escolaridad, el grado de Maestro en Ciencias de Ingeniería en Microelectrónica, y