

DI F U₁₀₀ci@

Revista de Difusión Científica

Vol. 3, No.1, mayo-agosto 2009

ISSN 2007-3585

Editorial

La competencia tecnológica Mexicana

Difusión

Teoría General de los Sistemas GPR

Alán Tiscareño

Investigación

Detección de placas automotrices mediante procesamiento de imágenes

José María Celaya

ISSN 2007-3585



PRODUCCIÓN
Universidad Autónoma de Zacatecas

PRODUCCIÓN Y DISEÑO

Gerardo Miramontes de León

D.R. de la Presente Edición

Gerardo Miramontes de León
Universidad Autónoma de Zacatecas
López Velarde 801, Centro
98000 Zacatecas, Zac. México

ISSN 2007-3585

DIFU100ci@ (léase difuciencia) Vol. 3, No.1, mayo-agosto 2009, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Autónoma de Zacatecas, "Francisco García Salinas", Jardín Juárez 147, Col Centro Zacatecas, Zac. C.P. 98000. www.uaz.edu.mx/gmiram/Revista.htm. correo-e:gmiram@ieee.org. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo del Título expedido por el INDAUTOR, Reserva: 04-2010-110314331900-102. Responsable de la última actualización Gerardo Miramontes de León, López Velarde 801, Zona Centro, Zacatecas, Zac. C.P. 98000. Fecha de última modificación 30 de mayo de 2012.

HECHO EN MÉXICO
MADE IN MEXICO

DIRECTORIO

M. en C. Francisco Javier Domínguez Garay Rector
I. Q. Armando Silva Cháirez Secretario General
M. en C. Jesús Octavio Enriquez Rivera Secretario Académico
M. en A Emilio Morales Vera Secretario Administrativo
Dra. Isabel Terán Elizondo Coord. Investigación y Posgrado
Dr. Luis Alejandro Aguilera Galaviz Coord. de Investigación
Dr. Diego Miramontes de León Coord. de Posgrado

CONSEJO EDITORIAL

Leonardo Acho Zuppa, U Politècnica de Catalunya, España
Miguel Andrés, U. de Valencia, España
Pedro Andrés, U. de Valencia, España
Luis Tupak Aguilar, CITEDIPN, México
David H. Covarrubias Rosales, CICESE, México
Ernesto García Domínguez, U. Autónoma de Zacatecas
Mireya Sara García Vázquez
CITEDIPN, México
Luis García Santander
U. de Concepción, Chile
Geminiano D. Martínez Ponce, CIO, México
Lyle E. McBride, CSU, Chico USA
Oscar Montiel, CITEDIPN, México
Arturo Moreno Báez, U. Autónoma de Zacatecas
Claudia Sifuentes Gallardo, U. Autónoma de Zacatecas

Contenido

Vol. 3, No. 1, mayo-agosto 2009

EDITORIAL

La competencia tecnológica Mexicana 6

En esta editorial continuamos con una breve reflexión acerca del desarrollo tecnológico en México y de cómo hemos pasado de ser un país líder en América Latina a ser un país resagado. Rescatamos una propuesta verbal la cual señala que hace falta que las personas con grado de doctor se involucren con proyectos tecnológicos en la industria. Esa propuesta, creemos, no pasa de ser una mera nota con buenas intenciones.

Teoría General de los Sistemas GPR 7

por Alán Tiscareño R. pp. 7 – 15

El *Radar de penetración superficial* (GPR por sus siglas en inglés) aporta un método de investigación no-destructivo y no-invasivo, el cual ofrece eficientemente trabajo de exploración, fundamental en el campo de construcción civil, ciencia forense, arqueología, entre otros. En el presente artículo se hace referencia a la teoría básica de los sistemas GPR, para detección de objetos sepultados. Se presenta en forma breve la historia del sistema GPR, sus componentes básicos y su funcionamiento, y la influencia de las características del material de propagación y la frecuencia en la profundidad de detección de energía reflejada de los bordes de objetos sepultados.

Detección de Placas Automotrices mediante Procesamiento de Imágenes

15

por José María Celaya P. pp. 15 – 19

En este artículo se presenta un método para la detección de placas automotrices en imágenes en escala de grises, basándose en la extracción de bordes relevantes así como su densidad estadística.

La competencia tecnológica Mexicana

NUEVAMENTE aparece una reflexión, exclamación, o franco reclamo hacia la necesidad de involucrarnos en proyectos de desarrollo tecnológico, como única vía para que este país sea competitivo. En una edición del mes de Junio, La Jornada^a publica una nota titulada “Pide Cinvestav a personas con doctorado involucrarse con proyectos en la industria”. En esta nota se asegura que el 99% de las personas con doctorado están empleadas, pero que en su mayoría se encuentran en el sector académico. Se indica, además, que es la falta de visión por parte del sector industrial la que impide entender que la innovación es la única forma de ser competitivos.

En esta nota no se da cuenta del número de personas con doctorado en el área tecnológica, lo cual podría ser otro factor a considerar, ya que en la actualidad se puede ver una tendencia a obtener un doctorado a como dé lugar, y así tenemos a muchos ingenieros con posgrados en administración y con doctorados en educación. Coincidiendo con el hecho de que la mayoría de los doctorados se encuentran en el sector académico, resulta que el obtener el doctorado es más una exigencia académica que un plan de desarrollo del país. Más aún, esta exigencia académica del grado de doctor es hoy en día más bien un requisito laboral en muchas de las universidades del país. Por otro lado, falta agregar que muchas de las empresas, vamos a llamar, “consolidadas” son empresas transnacionales cuyos intereses están fuera del país. Algunas de ellas dan un supuesto apoyo al desarrollo tecnológico del país, pero su impacto es con frecuencia muy bajo o nulo, ya que en el caso de generación de patentes o derechos de autor pasan a ser propiedad de esas transnacionales sin que haya un beneficio nacional real. Agregaría, para empeorar las cosas, que estas transnacionales han logrado acceder a los recursos, de por sí limitados, que este país destina a la investigación. La ilusión que tienen nuestros consejeros es parecida a la que se da en algunos gobiernos donde se dan toda clase de privilegios a empresas extranjeras bajo la premisa de que generan empleos, mientras que los emprendedores nacionales no reciben el mismo trato.

Así pues, aunque la nota tiene razón en cuanto a que el país requiere del desarrollo tecnológico propio, faltaría hacer un análisis más profundo de los factores que impiden ese desarrollo, incluyendo la falta de visión (en muchos casos de preparación) de quienes, con leyes, deciden el rumbo científico y tecnológico de este país.

© agosto 2009 G. Miramontes

correo-e: gmiram2002@yahoo.com

^a <http://www.jornada.unam.mx/ultimas/2009/06/09/>
o también
<http://mx.globedia.com/vincular-doctor-sector-industrial-cinvestav>

DIFU100ci@ (léase difuciencia) es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Autónoma de Zacatecas, Jardín Juárez 147, Col Centro Zacatecas, Zac. Tiene como objetivo difundir conocimientos científicos y tecnológicos del área de la ingeniería a través de artículos de divulgación y artículos que muestren temas de investigación.

EDITOR EN JEFE

Gerardo Miramontes de León
U. Autónoma de Zacatecas

CONSEJO EDITORIAL

[Leonardo Acho Zuppa](#)

U Politècnica de Catalunya
España

[Miguel Andrés](#)

U. de Valencia, España

[Pedro Andrés](#)

U. de Valencia, España

[Luis Tupak Aguilar](#)

CITEDI-IPN, México

[David H. Covarrubias Rosales](#)

CICESE, México

[Ernesto García Domínguez](#)

U. Autónoma de Zacatecas

[Mireya Sara García Vázquez](#)

CITEDI-IPN, México

[Luis García Santander](#)

U. de Concepción, Chile

[Efrén González Ramírez](#)

U. Autónoma de Zacatecas

[Geminiano D. Martínez Ponce](#)

CIO, México

[Lyle E. McBride](#)

CSU, Chico USA

[Oscar Montiel](#)

CITEDI-IPN, México

[Claudia Sifuentes Gallardo](#)

U. Autónoma de Zacatecas

El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores. Se permite la reproducción total o parcial de los contenidos siempre y cuando se cite la fuente, y en los términos de la Ley Federal de Derechos de Autor y, en su caso, de los tratados internacionales aplicables.



Teoría General de los Sistemas GPR

Alán Tiscareño Robledo

General theory of GPR systems

Recibido: mayo 11, 2009

Aceptado: julio 22, 2009

Palabras clave: Radar de penetración; pruebas no-destructivas; GPR

Abstract:

Ground penetration radar (GPR by its acronym in English) provides a method for non-destructive and non-invasive ground investigation, which offers efficient exploration work, mainly in the field of civil construction, forensics, archeology, among others. This article refers to the basic theory of GPR systems for buried object detection. We present briefly the history of the GPR system, its basic components and operation, and the influence of material characteristics in propagation and frequency detection depth of energy reflected from the edges of objects buried.

Keywords: Penetration radar; non-destructive testing; GPR

U

N sistema GPR es un dispositivo usado principalmente para exploración de suelos. Para su diseño se estudian técnicas utilizadas en electromagnetismo, medios de propagación con pérdidas, antenas de banda ancha, diseño de sistemas de radar, procesamiento de forma de onda y procesamiento de imágenes.

El rango de aplicaciones para métodos de GPR es completo y la sofisticación de técnicas de recuperación de señales y diseño de equipo ha estado creciendo como una tecnología madura.

Este artículo presenta en forma breve la historia del sistema GPR, sus componentes básicos y su funcionamiento, y la influencia de las características del material de propagación y la frecuencia en la profundidad de detección de energía reflejada de los bordes de objetos sepultados.

HISTORIA

La posibilidad de detectar objetos sepultados ha fascinado a la humanidad durante siglos [1]. Las técnicas que pueden hacer claramente visible el interior del suelo están basadas en ingeniería y métodos científicos. Se han desarrollado

equipos GPR de manera comercial desde las décadas de los años 1960's. El radar de impulso de onda ha sido el diseño más exitoso usado hasta la fecha. Históricamente se tienen los siguientes desarrollos:

- En 1904, Hñilsmeyer utiliza señales electromagnéticas para determinar si hay objetos metálicos enterrados.
- Hñilsenberck en 1926, desarrolla un trabajo aplicando técnicas de pulsos para determinar la estructura de objetos enterrados.
- En 1930, fueron desarrolladas nuevas técnicas de pulsos, utilizadas principalmente en agua fresca, verificación de profundidades en hielo, depósitos de sales, desiertos de arena y formaciones rocosas.
- En 1972, Rex Morey y Art Drake comienzan Geophysical Survey Systems Inc. para vender de forma comercial sistemas de penetración de suelos.
- En México tan sólo existe una empresa dedicada a hacer estudios de pavimentos y socavaciones con tecnología GPR: RadarTech de México SA de CV.

La humanidad siempre ha estado fascinada con la posibilidad de detectar objetos sepultados

Los campos de aplicación del sistema GPR se han incrementado con el avance de la tecnología y de algoritmos de procesamiento de datos. Algunos de los campos de aplicación son:

- | | |
|------------------------------------|----------------|
| - Arqueología | - Agricultura |
| - Construcción | |
| - Detección de minas terrestres | |
| - Ciencia forense | |
| - Localización de tumbas | |
| - Localización de fugas | - Minería |
| - Caminos, carreteras y pavimentos | |
| - Sedimentos | - Hundimientos |
| - Detección de túneles | |

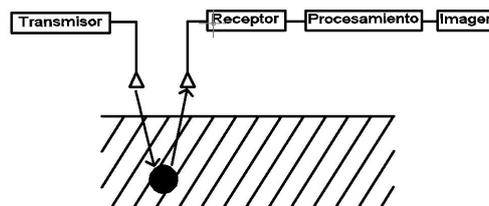


Figura 1. Diagrama de bloques de un sistema GPR.

ELEMENTOS BÁSICOS DEL SISTEMA GPR

El sistema está conformado como se muestra en la Figura 1 donde se presentan tres etapas principales: dispositivos electrónicos, antenas y medio de propagación [2].

El transmisor de la señal tiene como característica principal emitir impulsos del orden de nanosegundos, o de producir un amplio rango de tipos de modulación.

En el suelo se puede presentar cualquier discontinuidad dieléctrica. Los diferentes objetivos que podrían ser encontrados bajo la superficie pueden ser clasificados de acuerdo a su geometría: largo, objetos delgados, objetos cúbicos o esféricos.

Un sistema de recepción y procesamiento es capaz de localizar un tipo dado de objetivo y de producir una imagen de dicho objetivo.

La atenuación de la señal a la frecuencia de operación deseada, es el principal factor a ser considerado cuando se evalúa la utilidad de un radar en un material dado, como regla, el material que tiene un alto valor de conductividad a baja frecuencia tendrá una gran atenuación de la señal en su trayectoria de propagación.

El rango de aplicaciones para métodos de GPR es completo y la sofisticación de técnicas de recuperación de señales y diseño de equipo ha estado creciendo como una tecnología madura

Transmisión y recepción

El transmisor de la señal puede emitir en amplitud, frecuencia, modulación de fase y alta señal a ruido. La selección de frecuencia, ancho de banda; la tasa de repetición y energía dependerán de las pérdidas en el trayecto, dimensiones de los objetivos, requerimientos de resolución y profundidad, los cuales influyen en la elección de la técnica de modulación y por lo tanto en el diseño del sistema. Existe una serie de parámetros a considerar en el diseño de un sistema GPR, los más importantes serán mencionados a continuación .

Velocidad de propagación

Si la velocidad de propagación puede ser medible, se puede hacer una medida de profundidad o grosor para materiales homogéneos. La velocidad de propagación (en metros sobre segundos) está definida como:

$$v_r = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

y la medida de la profundidad o grosor está dada (en metros) por:

$$d = v_r \frac{t}{2} \quad (2)$$

donde ϵ_r es la permitividad relativa, t es el tiempo transcurrido desde que la energía penetra el suelo hasta que toca el objetivo. Si se incrementa la permitividad relativa, la velocidad de propagación decae, la longitud de onda λ dentro del material también decae con la siguiente proporción:

$$\lambda_m = \frac{v_r}{f} \quad (3)$$

Rango

El rango (alcance¹) de un GPR es gobernado por la pérdida total en el trayecto y sus tres principales contribuciones son: pérdida por tipo de material, pérdida de propagación y pérdida por dispersión.

La señal que es detectada por el receptor sufre varias pérdidas en el trayecto desde el transmisor hasta el receptor. El total de la pérdida en el trayecto es:

$$L_t = L_e + L_m + L_{t1} + L_{t2} + L_s + L_a + L_{sc} \quad (4)$$

donde:

L_e =Pérdida de eficiencia de la antena (dB)

L_m =Pérdida de desigualdad de la antena (dB)

L_{t1} =Pérdida por transmisión a través del aire (dB)

L_{t2} =Pérdida por retransmisión a través del aire (dB)

L_s =Pérdida por propagación de la antena (dB)

L_a =Pérdida por atenuación en material (dB)

L_{sc} =Pérdida por dispersión en el objeto (dB).

Un sistema de recepción y procesamiento es capaz de localizar un tipo dado de objetivo y de producir una imagen de dicho objetivo

Desorden

El desorden que afecta un sistema GPR es definido como todas esas señales que no son relacionadas con las características de dispersión de los objetivos, pero ocurren en la misma ventana de tiempo y tienen características espectrales similares que las reflejadas por el objetivo.

Este tipo de señal de desorden puede ser causada por el lapso entre transmitir y recibir así como múltiples reflexiones entre la antena y el suelo. El desorden varía de acuerdo con el tipo de configuración de la antena, es más significativo a cortos rangos de tiempo y disminuyen en tiempos más grandes.

La antena receptora debe manejar las modulaciones adecuadas y un rango dinámico para pérdidas de trayecto. El ancho de banda B del receptor puede ser determinado considerando la energía del espectro recibido, la cual resulta de la transformada de Fourier de la señal wavelet recibida.

Si se tienen varias capas en el medio de propagación, la señal reflejada desde la interfase, regresará combinada con otras longitudes, como se muestra en la Figura 2. En algunas circunstancias es necesario utilizar un proceso de deconvolución para reconocer las respuestas de cada interfase.

¹ Nota del editor.

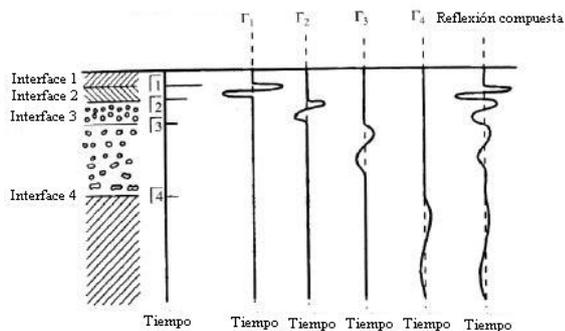


Figura 2. Convolución de interfase con múltiples reflexiones.

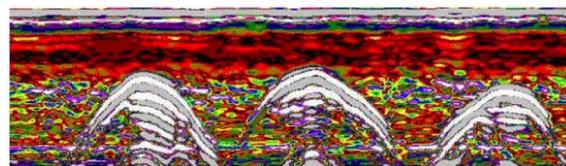


Figura 3. Procesamiento de señal de dispersión de tres objetos



Figura 4. Planta de radiación de una fuente isotrópica.

Los campos de aplicación del sistema GPR se han incrementado con el avance de la tecnología y de algoritmos de procesamiento de datos

PROCESAMIENTO

Es importante definir los parámetros de los objetos a ser analizados ya que hay una considerable diferencia de respuesta entre diferentes objetivos tales como: tubería, mina, hueco, etc. Este es el mayor impacto sobre el diseño de la antena así como el estado de la polarización, propiedades de los materiales y las estrategias del procesamiento de señales. El desplegado en pantalla de imágenes necesita un procesamiento de señal diferente que el requerido por el procesamiento para identificación y clasificación de objetos. Una imagen típica de un sistema GPR se muestra en la Figura 3. En esta imagen se muestra la propagación de la señal electromagnética pasando por la sección transversal de tres diferentes objetos sepultados. El procesamiento de señales debe tomar en cuenta las necesidades del usuario y existe la consideración de que el proceso de interpretación de señales debe ser automático. Para operar eficientemente se deben tener en cuenta cuatro aspectos:

- Relación de señal-dispersión.
- Relación señal a ruido.
- Una adecuada resolución espacial de objetivos.

- Una adecuada relación profundidad-objetivos.

Otra aplicación de GPR es la medición de capas terrestres. Es posible determinar la profundidad, midiendo el tiempo transcurrido entre el primer borde de la señal recibida y un tiempo de referencia.

Se requiere una señal con un gran ancho de banda para poder distinguir entre varios objetivos y poder mostrar su estructura.

Una gran resolución de profundidad es alcanzada en materiales líquidos para un ancho de banda transmitido; para materiales como tierra con un significativo contenido de agua, tiende a tener altas propiedades de atenuación. Estas características disminuyen el ancho de banda efectivo de modo que, la resolución es aproximadamente independiente de la pérdida dentro del material de propagación.

Resolución de planta

El efecto de la resolución de planta sobre la tierra puede ser vista en la Figura 4, donde se tienen varias imágenes de planta paralelas horizontalmente, las cuales fueron muestreadas a 5 cm de separación. Para alcanzar una resolución de planta aceptable se requiere una alta ganancia de antena, significativa apertura en la más baja frecuencia transmitida y un eficiente procesamiento. Estas técnicas típicamente requieren mediciones usando pares de receptores y transmisores, a un número determinado de posiciones para así poder generar una apertura sintética. La resolución de planta se mejora a medida que incrementa

la atenuación, asumiendo que hay suficiente señal para discriminar bajo condiciones de alto desorden.

Método de diferencias finitas en dominio del tiempo

Este método (FDTD por sus siglas en inglés, finite-difference time domain) es utilizado para modelar el campo de propagación de un sistema GPR típico [5]. Este método ofrece la posibilidad de investigar el rendimiento de un amplio rango de antenas operando en presencia de suelo a cierta distancia, el cual ofrece la ventaja de reducir significativamente el trabajo de procesamiento. Para problemas de propagación de ondas electromagnéticas, FDTD tiene ciertas ventajas sobre algunos modelados numéricos, tales como:

- No requiere de la solución de funciones de Green.
- Implementa directamente las ecuaciones de Maxwell de campo electromagnético para tres dimensiones sin la necesidad de evaluar potenciales eléctricos o magnéticos.
- Permite diferentes tipos de respuestas a modelar: dispersión, propagación, efectos de superficie, corrientes, densidad de energía.
- Incorpora cambios en las propiedades de los materiales sin necesidad de cambiar el esquema de descripción matemático.
- Incluye la geometría en tres dimensiones, características de materiales y diseño sofisticado de antenas, así como el uso de diferentes tipos de ejes y diseños.

El modelo es subdividido en células de campo en tres dimensiones (ortogonales) Δx , Δy , Δz . El campo eléctrico y magnético dentro de cada célula esta descrito por componentes cartesianas $E(x,y,z)$ y $H(x,y,z)$ de campo vectorial escalonado en el espacio en una forma referida como célula Yee [3] como se muestra en la Figura 5. Con el uso de aproximación de diferencia finita para la forma diferencial de las ecuaciones de campo electromagnético de Maxwell, es posible calcular el campo eléctrico en cualquier punto del espacio. Para simular la superficie física, se toman en cuenta las propiedades del material (permeabilidad, permitividad y conductividad) y la geometría de la estructura, por grupos de células que comparten las mismas propiedades.

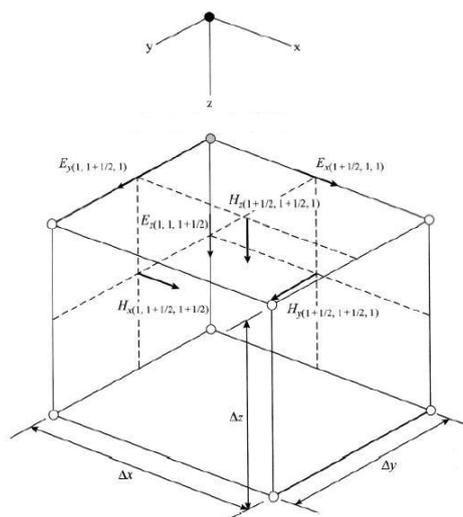


Figura 5. Célula Yee con componentes cartesianas magnéticas y eléctricas escalonadas en el espacio.

Tabla 1. Características dieléctricas de varios materiales a 100MHz.

Material	Conductividad S/m	Permeabilidad reactiva
Aire	0	1
Asfalto seco	$10^{-2} : 10^{-1}$	2-4
Asfalto humedo	$10^{-3} : 10^{-1}$	6-12
Concreto seco	$10^{-3} : 10^{-2}$	4-10
Concreto humedo	$10^{-2} : 10^{-1}$	10-20
Arena seca	$10^{-7} : 10^{-3}$	2-6
Arena humeda	$10^{-3} : 10^{-2}$	10-30
Agua de mar	10^2	81

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

La atenuación de radiación electromagnética se incrementa con la frecuencia. A una frecuencia dada los materiales húmedos exhiben una mayor pérdida que los materiales secos [4]. La velocidad de propagación es gobernada por la permitividad relativa del material, la cual depende del contenido de agua. La Tabla 1 muestra el rango de las características dieléctricas para diferentes materiales a una frecuencia central de 100 MHz.

Para simular la superficie física, se toman en cuenta las propiedades del material (permeabilidad, permitividad y conductividad) y la geometría de la estructura, por grupos de células que comparten las mismas propiedades

Los materiales que contienen una cantidad aceptable de humedad se comportarán como conductores dieléctricos, especialmente si el agua está ionizada. En el espacio libre la susceptibilidad magnética y la permitividad eléctrica son constantes.

La velocidad de propagación está definida

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} \quad (5)$$

donde:

μ =Susceptibilidad magnética absoluta del medio $\mu = \mu_0\mu_r$.

ϵ =Permitividad eléctrica absoluta $\epsilon = \epsilon_0\epsilon_r$.

μ_0 =Susceptibilidad magnética absoluta del espacio libre ($1.26 \times 10^{-6} \text{Hm}^{-1}$).

ϵ_0 =Permitividad eléctrica absoluta del espacio libre ($8.86 \times 10^{-12} \text{Fm}^{-1}$).

μ_r =Susceptibilidad magnética relativa.

ϵ_r =Permitividad relativa.

La impedancia intrínseca de los materiales está dada por:

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \quad (6)$$

Una onda propagada en dirección positiva del eje z en un dieléctrico perfecto puede ser descrita por:

$$E(z) = E_0 e^{-jkz} \quad (7)$$

donde la constante de fase es

$$k = \frac{\omega}{v} = v\sqrt{\mu\epsilon} \quad (8)$$

la cual se considera como una constante del medio para una frecuencia particular, o como el factor de propagación para el medio.

Para materiales dieléctricos con pérdidas, la absorción de radiación electromagnética es causada por conducción y efectos dieléctricos. No es posible distinguir las componentes separadas de pérdidas para cada material por medio de mediciones a una única frecuencia.

Para la mayoría de materiales la respuesta magnética es débil y necesita ser considerada como una cantidad compleja. La permitividad compleja (ϵ) y la conductividad compleja (σ) están expresadas por

$$\epsilon = \epsilon - j\epsilon \quad (9)$$

$$\sigma = \sigma - j\sigma. \quad (10)$$

Para conductores dieléctricos, los parámetros serán la permitividad y la conductividad aparente

$$\bar{\epsilon} = \epsilon_e - j\epsilon_e \quad (11)$$

$$\bar{\sigma} = \sigma_e - j\sigma_e. \quad (12)$$

La propagación de un campo electromagnético E_0 con $z = 0$ y $t = 0$ en un conductor dieléctrico puede ser descrito por:

$$E(z,t) = E_0 e^{-\alpha z} e^{-j(\omega t - \beta z)}. \quad (13)$$

La primera exponencial de la función es el término de atenuación y el segundo es el término de propagación. Para el término de atenuación a una distancia $z = 1/\alpha$ la atenuación es $1/e$, esta distancia es conocida como profundidad capilar, la cual indica cuál es la penetración de un sistema GPR.

En cualquier estimación de nivel de señal recibida es necesario considerar los coeficientes de reflexión y transmisión, así como los pasos a través de los dieléctricos hasta el objetivo como se muestra en la Figura 6. Para esto se necesita considerar la impedancia intrínseca de diferentes materiales. En el límite de una segunda capa, cierta energía será reflejada y el resto transmitida. La fuerza de campo reflejada esta dada por:

$$r = \frac{\eta_1 - \eta_2}{\eta_1 + \eta_2} \quad (14)$$

donde η_1 y η_2 son las impedancias de los medios 1 y 2 respectivamente.

La amplitud de la señal reflejada por el objetivo es afectada por la propagación dieléctrica del material, las características geométricas del objetivo y sus parámetros dieléctricos.

El comportamiento de materiales creados por el hombre generalmente es complicado ya que muestra propiedades dieléctricas y conductivas. Sus características electromagnéticas son controladas por el comportamiento a micro escala de los elementos que componen el material.

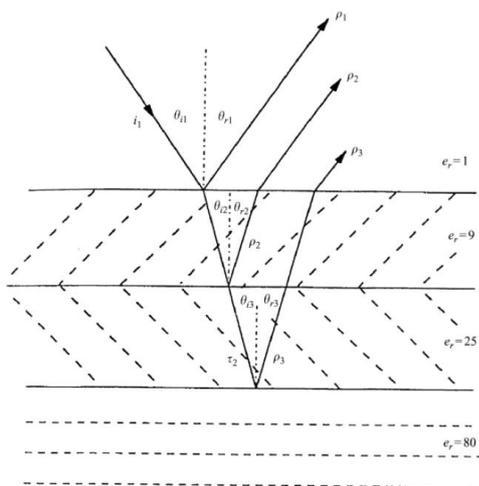


Figura 6. Dieléctrico multicapa

Tabla 2. Aplicaciones para diferentes frecuencias centrales.

Frec. (MHz)	Prof. (m)	Aplicación
2000	0 – 0.75	Evaluación de asfalto
2300	0.4	Pruebas sobre concreto
900	0 – 1	Detección de minas, huecos
270	0 – 6	Huecos, tuberías, geología
100	2 – 15	Tuberías, geología, minería

FRECUENCIAS Y PROFUNDIDAD

Los sistemas GPR varían según su frecuencia central de operación. Dependiendo la frecuencia (ver Tabla 2) se tiene una profundidad de penetración y aplicación [6].

CONCLUSIONES

En este artículo se revisó brevemente la teoría básica e introductoria para el entendimiento del funcionamiento del sistema GPR. El sistema consta de un transmisor que emite una onda electromagnética a cierta frecuencia cuya amplitud y fase cambia dependiendo de las propiedades eléctricas del medio de propagación. Parte de la energía de la onda electromagnética es reflejada hacia el receptor del sistema GPR que debe ser procesada para la detección e identificación de las propiedades físicas del objeto sepultado. Esta tecnología es muy útil cuando es necesario investigar objetos sepul-

tados sin la necesidad de perturbar el medio en el que se encuentra encerrado. Una aplicación muy importante en la que se está trabajando es la identificación y estado de los elementos de la red de agua potable de la Ciudad de Zacatecas en el suelo con un máximo de 4 metros de profundidad sin la necesidad de hacer excavaciones costosas. Este sistema es realmente un método de investigación no-destructivo y no-invasivo con una amplia gama de campos de aplicación.

Bibliografía

- [1] David J. Daniels, Ground Penetrating Radar, 2th edition, 2004, pp: 5-9.
- [2] <http://wi-fiplanet.webopedia.com/TERM/G/GPR.html>
- [3] Yee, K. S.: Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equation in isotropic media, IEEE Trans. Antennas Propag., 1966, 14 (2), pp. 302-307.
- [4] Pelinski, N. R., Ulaby, F. T., and Dobson, M. C.: Dielectric properties of soils in the 0.3-1.3 GHz range, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 1995, pp. 803-807.
- [5] Gousui, L., Hong, G., and Weimin, S.: Development of random signal radars, IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., 1999, pp. 770-777.
- [6] <http://www.metalfind.net/en/index.php?page=productsgeorada>

Acerca del autor o autores

Alán Tiscareño Robledo es estudiante de la Maestría en Ingeniería con orientación en Procesamiento Digital de Señales, de la Fac. de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Su interés se centra en el estudio y desarrollo de los sistemas GPR para resolver problemas de distribución de agua potable en la región.

EN INV IE

**ENCUENTRO
DE
INVESTIGACIÓN
EN
INGENIERÍA
ELECTRICA**

25 - 26

Marzo

Zacatecas, Zac. Mexico





Detección de Placas Automotrices mediante Procesamiento de Imágenes

José María Celaya Padilla

Automobile license plate detection by image processing

Recibido: junio 1, 2009
Aceptado: agosto 2, 2009

Palabras clave: detección de placas; procesamiento de imágenes; reconocimiento

Abstract:

This article presents a method for the detection of automobile license plates in grayscale images based on the extraction of edges and density relevant statistics.

Keywords: plate detection; image processing; recognition

LA detección de una placa automotriz presenta ciertos retos muy particulares, ya que en un país de poco más de 13.5 millones de automóviles registrados, nos da un reto muy grande, ya que no todos los automóviles son iguales, es decir no todos

tienen la placa en la misma posición del automóvil, existen 32 diferentes tipos de matrículas, además de que la forma de los automóviles difiere entre modelos, colores y tamaños. Es por ello que contar con un sistema que sea capaz de identificar una determinada placa sin importar el modelo, forma, color y posición de la placa con respecto al automóvil se convierte en un trabajo de una gran relevancia social así como económica. No obstante estas dificultades que se mencionaron anteriormente, pueden ser enfrentadas mediante el procesamiento digital de imágenes, específicamente con el uso de algoritmos morfológicos, ya que estos nos permiten trabajar con las formas de la imagen y de esta manera poder extraer las áreas de interés que nos sean útiles, en este caso la placa automotriz.

TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

Actualmente existen muchas técnicas de procesamiento de imágenes que nos ayudan a lograr diferentes objetivos, [3] por lo que hablar en detalle de todas sería una tarea muy grande y se extendería mucho, así como proponer un patrón de análisis donde se indiquen los pasos a seguir para proce-

sar una imagen no es factible ya que dependerá del objetivo que estemos buscando y de las características propias de la imagen, sin embargo un patrón muy usado en un gran medida es el mostrado en la Figura 1, donde se da una “guía” para el procesado. [2]



Figura 1. Diagrama del procesamiento de una imagen.

Histograma de una imagen

El histograma de una imagen en escala de grises (fig. 2), representa la frecuencia relativa de los niveles de gris de la imagen [1], nos sirven para saber cómo está distribuida la intensidad de la imagen y posteriormente mejorar el contraste de imágenes con histogramas muy concentrados. En forma discreta la fórmula del historial está dada por:

$$h(r_k) = n_k \quad (1)$$

(1) Donde r_k es el k -ésimo nivel de intensidad y n_k es el número de píxeles que contienen el mismo nivel de intensidad en la imagen.

Dentro de las técnicas de mejoramiento de imágenes podemos resaltar el ecualizado de histograma, esta técnica nos permite realzar diferentes partes de una imagen de acuerdo a un criterio que nos interese, de esta forma es posible preparar la imagen para ser procesada posteriormente.

ALGORITMO DE DETECCIÓN DE PLACAS

Típicamente una placa automotriz contiene muchos cambios de superficie o bordes, por lo que los métodos para la

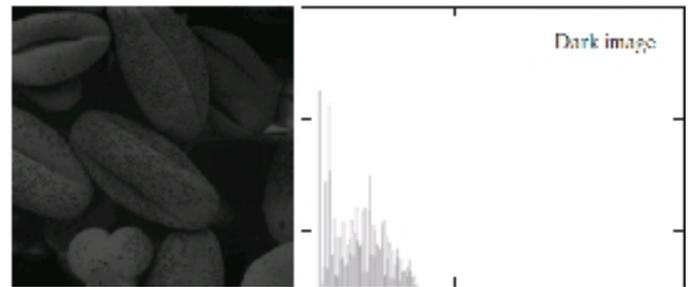


Figura 2. Histograma de una imagen [1].



Figura 3. Histograma de una imagen ecualizado.

detección de placas están basados en esta suposición por lo que se parte de la suposición de que: “Las áreas que contienen la placa automotriz estarán en áreas con gran densidad de bordes” [4], sin embargo muchos falsos candidatos pueden ser obtenidos, por lo que es necesario aplicar algunas operaciones morfológicas para poder escoger los adecuados.

EXTRACCIÓN DE BORDES VERTICALES

Los bordes verticales son los prominentes, debido a los trazados de los caracteres incluidos en la placa automotriz, y para esto lo primero que usaremos será un filtro vertical Sobel de 3×3 , con el fin de poder detectar el gradiente de la imagen o los cambios abruptos en la imagen en este caso de manera vertical, la figura 4, muestra el efecto de aplicar un filtro Sobel vertical de 3×3 en una imagen de entrada dada.

Típicamente una placa automotriz contiene muchos cambios de superficie o bordes



Figura 4. Bordes verticales de la imagen.

Posteriormente y una vez obtenidos los bordes, se debe de binarizar la imagen que contiene los bordes, de tal manera que nos resalte las áreas donde se encuentra la placa automotriz, típicamente se escoge un umbral en base al histograma de la imagen que garantice que un $a\%$ [6] de valores de la imagen esté por arriba del umbral elegido, a su vez este método tiene la ventaja de que se puede auto adaptar dependiendo de las condiciones de luz y contraste. Resultando la figura 5



Figura 5. Histograma y binarizado resultante de la figura 4.

Al tener la imagen binarizada, ya es posible obtener la densidad de los bordes verticales, que nos mostrara donde se están concentrando la mayor cantidad de bordes verticales, en la imagen 6 podemos ver donde se esta concentrando la energía a lo largo de la imagen.

Como podemos ver en la figura 6 se pude apreciar una gran concentración de de energía en el área donde se encuentra la placa automotriz, sin embargo también se nos muestra otras

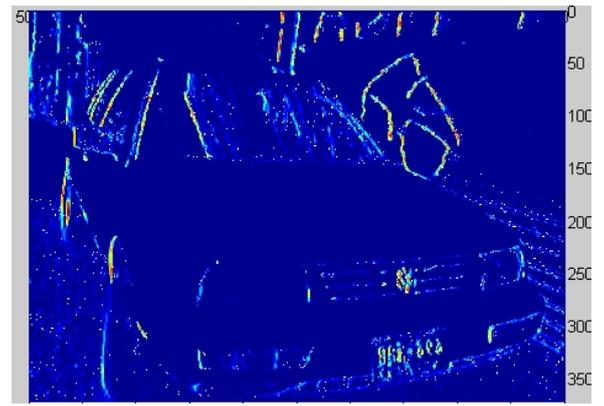


Figura 6. Densidad de bordes verticales.

áreas con densidad de bordes, por lo que se debe de aplicar algún criterio para poder separar la información que no nos interesa, por lo que se debe de generar una Imagen con la densidad de la imagen D , mediante una máscara de densidad D [4] (2) de dimensiones $w \times h$ a la imagen de entrada $B(x,y)$, que nos calcule el valor de cada pixel con dentro de la ventana, para poder determinar su nivel de relevancia con respecto a sus demás pixeles.

$$D(x,y) = \sum_{i=x-w/2}^{x+w/2} \sum_{j=y-h/2}^{y+h/2} \frac{B(i,j)}{w \times h} \in [0, 1] \quad (2)$$

donde

$$h = \frac{h_M + h_m}{2} \cdot 0.85; w = h \cdot r \cdot 0.7. \quad (3)$$

Así mismo h_m y h_M es la altura mínima y máxima respectivamente esperada en pixeles de los caracteres que contiene la placa, y r es la relación de aspecto de los caracteres, es posible ajustar diferentes valores de r , h_m y h_M dependiendo de las dimensiones y caracteres de la placa para obtener un mejor resultado, para este ejemplo en particular se usaron los siguientes valores, $r = 0.58$, $h_m = 10$ y $h_M = 33$ [4]. La densidad de la imagen D es usada para localizar aquellos candidatos potenciales, para esto se hace un barrido unidimensional sobre cada uno de los renglones del mapa de densidad, en particular la varianza de la densidad de los valores a lo largo de cada renglón son obtenidos y almacenados en el vector $v(y)$ figura8, en la figura 7 podemos ver el resultado de aplicar la máscara de densidad(2).

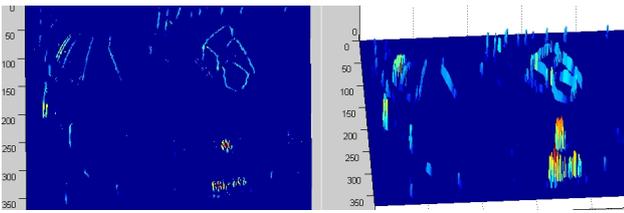


Figura 7. Densidad de bordes verticales después de aplicar la transformación (2) a la figura 5.

La densidad de bordes de la imagen es usada para localizar aquellos candidatos potenciales, y se hace un barrido unidimensional sobre cada uno de los renglones del mapa de densidad

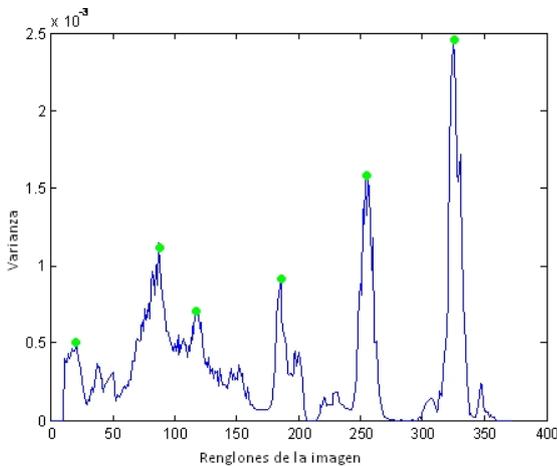


Figura 8. Varianza por renglones del mapa de densidad D.

Típicamente el área donde se encuentra la placa automotriz mostrará una alta densidad, por lo que cualquier pico por arriba de un umbral deberá ser considerado un posible candidato, debido a la forma rectangular de la placa automotriz y los caracteres contenidos en ella, deberemos buscar zonas con una alta densidad y que además como vecino cercano

tengan otra área con una densidad similar ya que es posible que se obtenga un gran pico de densidad pero eso no significa que en esta área este la placa automotriz, Como se puede ver en la figura 8, se resaltaron en verde varios puntos que pueden ser considerados candidatos a contener la placa automotriz, cerca del renglón 320 se aprecia 1 pico, este corresponde a la placa automotriz. Como podemos ver este sencillo algoritmo nos lleva por un camino sencillo que nos acerca al lugar donde se encuentra la placa automotriz, actualmente este es un trabajo se está llevando a cabo, pero que nos presentará resultados prometedores, además de poder realizar completamente el procesamiento de imágenes en computadoras de uso específico como lo son los DSP's.

CONCLUSIONES

Se concluye que la detección de placas automotrices mediante el procesamiento de imágenes nos ofrece una alternativa de adquisición de información, a las ya conocidas actualmente, brindándonos resultados prometedores con un coste computacional relativamente bajo, sin embargo, actualmente se está trabajando en el desarrollo de un sistema de detección de placas automotrices usando un DSP como unidad de adquisición de datos y de procesamiento de imágenes, aplicando algoritmos morfológicos como los que se vieron en el presente artículo, y que se espera sea capaz de identificar placas de manera más eficiente.

Bibliografía

- [1] Rafael C. González y Richard E. Woods, Digital Image Processing, Prentice Hall, Segunda edición.
- [2] http://www.tsc.uc3m.es/imagen/Curso_ProcesadoMorfologico/index.html
- [3] http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_image_processing
- [4] Manuel Vargas, Sergio L. Toral, Federico Barrero, and Francisco Cortés, A License Plate Extraction Algorithm, Image Analysis and Processing ICIAP 2009 LNCS-5718 p-317, University of Seville, Spain.
- [5] Martín Rodríguez, F., Fernández Hermida, X.: New Advances in the Automatic Reading of V.L.P.s (Vehicle

License Plates). In: Proceedings de SPC 2000 (Signal Processing and Communications), Marbella (September 2000).

- [6] Jianbin Jiao, Qixiang Ye, Qingming Huang, A configurable method for multi-style license plate recognition Graduate University of Chinese Academy of Sciences, No.19A, Yuquan Road, Beijing 100049,PR China.

Acerca del autor o autores

José María Celaya Padilla es estudiante de la maestría en ingeniería con orientación en procesamiento digital de señales de la Fac. de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma de Zacatecas, jose.cpadilla@gmail.com

INSTRUCCIONES PARA AUTORES

DIFU100ci@ (léase difuciencia) es una publicación cuatrimestral del Cuerpo Académico de Procesamiento e Instrumentación óptica, de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma de Zacatecas. Tiene como objetivo difundir conocimientos científicos y tecnológicos del área de la ingeniería, a través de artículos de divulgación y artículos que muestren temas de investigación. La revista cuenta con el Certificado de Reserva de Derecho al Uso Exclusivo del Título expedido por el INDAUTOR, Reserva: 04-2010-110314331900-102.

Los trabajos pueden ser clasificados, al menos, en tres categorías: Divulgación, Investigación, y Tutoriales.

Divulgación: Artículos que no necesariamente contienen resultados de proyectos de investigación propiamente. En esta sección también se podrán incluir trabajos que presenten nuevos enfoques a temas de investigación de modo que permitan ampliar su difusión.

Investigación: Se pueden incluir resultados de investigación aunque conservando el enfoque a la divulgación, es decir, no necesariamente con el rigor de un “paper”. Con ese enfoque se pretende motivar aun mayor número de lectores al hacerles llegar los nuevos tópicos que se estudian actualmente. Los trabajos sobre desarrollo tecnológico pueden ser considerados en esta categoría y se recomienda que un mayor número de trabajos correspondan a esa importante tarea.

Tutoriales: Se muestran temas novedosos, pero poco conocidos. O bien, nuevos enfoques a temas básicos, con un objetivo didáctico, de modo que permitan ampliar el conocimiento y motiven su aplicación en proyectos de ingeniería (desarrollo tecnológico). Página provisional de la Revista:

<http://www.uaz.edu.mx/gmiram/Revista.htm> **Sobre el formato del texto:** Los trabajos se pueden enviar en formato txt y las gráficas o figuras en formato jpg con buena resolución. De ser posible debe enviarse un solo archivo rar o zip que contenga tanto el texto como las figuras. En el caso de utilizar Word, se deberá enviar en formato .doc, sin utilizar macros (no se aceptará formato docx). También se aceptarán trabajos en formato OpenOffice. No se solicita ningún formato de página en especial, ya que el texto será llevado al formato de la revista. El trabajo debe incluir

1. Título y Lista de autores.
2. Resumen en un máximo de 200 palabras. El Resumen se utiliza como descripción del trabajo en el índice ampliado, y no aparece en el cuerpo del documento (ver algún número anterior como muestra).
3. Cuerpo del documento: El título de las Secciones será en MAYÚSCULAS, debidamente acentuadas. Las Subsecciones en minúsculas con la primera letra en mayúscula.
4. Las ecuaciones deberán indicarse lo más claramente posible, aun en formato txt. Por ejemplo: $H(\omega_1) = z^2 / (z - 0.5)$ where $z = e^{(j)\omega_1}$
5. Biografía de los autores. El lugar de adscripción se incluirá en una sección “acerca del autor” donde se podrá incluir una breve descripción del puesto que desempeña o ha desempeñado cada autor.

El autor principal deberá enviar debidamente llenado y firmado el formato de “cesión de derechos”, manifestando además que el trabajo no ha sido publicado previamente.

POLÍTICA EDITORIAL:

Los originales serán sometidos a un proceso editorial en varias fases. En primer lugar, los artículos recibidos serán objeto de una evaluación preliminar por parte del Comité Editorial, quien determinará la pertinencia de su publicación, con base a los requisitos temáticos. En la segunda fase, los artículos son enviados a dos pares académicos externos, quienes determinarán en forma anónima uno de los siguientes dictámenes: a) publicar sin cambios, b) publicar después de cumplir correcciones menores, c) publicar una vez que se haya revisado a fondo, d) rechazar. En caso de discrepancia entre los dos árbitros, el texto será enviado a un tercer árbitro, cuya decisión definirá si es aceptado o rechazado. Los resultados del proceso del dictamen son inapelables en todos los casos.

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

DIFU100ci@ (read difuciencia) is a quarterly publication of the Processing and Optical Instrumentation Academic Group, Faculty of Electrical Engineering, Universidad Autonoma de Zacatecas. It aims to disseminate scientific and technological knowledge in the field of engineering, through application oriented articles and articles showing research topics. The magazine has a certified copyright number for exclusive use of the title issued by INDAUTOR, Reserve: 04-2010-110314331900-102.

Aims and Scope: The articles can be classified in at least three categories: Divulgation, Research, and Tutorials.

Divulgation: The articles do not necessarily contain results of research projects themselves. This section will also include works that showcase new approaches to research subjects so as to broaden its distribution.

Research: The articles include research results while maintaining the focus on disclosure (divulgation), ie not necessarily with the rigor of a “paper”. This approach is intended to motivate even more to bring readers to the new topics that are studied today. Works on technological development can be considered in this category and it is recommended to have more articles related to this important task.

Tutorials: These include new issues, but little known. Alternatively, they may include new approaches to basic knowledge, with a didactic purpose, so that will expand knowledge and encourage its application in engineering/technological projects. Provisional Web site of the Magazine: <http://www.uaz.edu.mx/gmiram/Revista.htm>

Format for submmision: The work can be sent in .txt formats and graphics or pictures in .jpg format with good resolution. It will be acceptable to send a single .zip or .rar file containing both the text and figures. In the case of using word, it must be sent in .doc format without using macros (.docx format is not accepted). It will be also accepted as an OpenOffice file. It is not requested any page format, especially since the text will be brought to the format of the magazine.

The article should include:

1. Title.
2. List of authors.
3. Summary in a maximum of 200 words. The summary is used as the article description in the expanded index, and does not appear in the document body (see a previous issue as a sample).
4. Main body of document. The title of the section will be in UPPERCASE, properly spelled. Subsections must be written in lowercase with the first letter capitalized.
5. The equations should be indicated as clearly as possible, even in txt format. For example:
$$H(\omega_1) = z^2 / (z - 0.5) \text{ where } z = e^{(j)\omega_1}$$
6. Biography of the authors. The actual job position will be included in a section “about the author” which may include a brief description of the position played or had played each author.

The lead author must submit the duly completed and signed form of “transfer of rights”, saying that the work has not been published previously.

EDITORIAL POLICY:

Manuscripts will undergo an editorial process in several phases. First of all the items received will be subject to a preliminary assessment by the Editorial Committee, who will determine the relevance of its publication, based on thematic requirements. In the second phase, items are sent to two external academic peers, who determine anonymously one of the following opinions: a) accept unchanged, b) accept after serving minor corrections, c) accept once it has been fully reviewed, d) reject. In case of discrepancy between the two arbitrators, the text will be sent to a third arbitrator, whose decision will define if it is accepted or rejected. The results of the opinion process are final in all cases.

