

DIF U₁₀₀ci@

Revista de Difusión Científica

Vol. 7, No.1, mayo-agosto 2013

ISSN 2007-3585

Investigación

Diseño y Construcción de un Módulo para Pruebas de

Levitación Magnética

Aurelio Beltrán Télles et al.

Investigación

Compresión LZW en un sistema de comunicaciones

MIMO inalámbrico

Roilhi Ibarra Hernández et al.

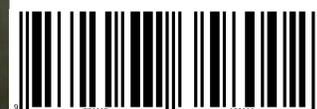
Divulgación

Uso del campo magnético de la tierra para localizar a las

personas en interiores

Carlos Erik Galván Tejada et al.

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. 7, No.1, mayo-agosto 2013, 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 31 de agosto de 2013.

HECHO EN MÉXICO
MADE IN MEXICO

DIRECTORIO

I. Q. Armando Silva Cháirez Rector
Lic. Cuauhtémoc Rodríguez Aguirre Secretario General
Dr. Miguel Rodríguez Jáquez Secretario Académico
M. en A Emilio Morales Vera Secretario Administrativo
Dr. Marco Antonio Salas Luévano Coord. Investigación y Posgrado
Dra. Georgia Aralu González Pérez Coord. Depto. Editorial

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, UAZ México
Mireya Sara García Vázquez CITEDI-IPN, México
Luis García Santander U. de Concepción, Chile
Geminiano D. Martínez Ponce, CIO, México
Oscar Montiel Ross, CITEDI-IPN, México
Arturo Moreno Báez, UAZ México
Claudia Sifuentes Gallardo, UAZ México
Carmen Maya Sánchez, CICESE México
Ricardo Chávez Pérez, CICESE México
Roberto Conte Galván, CICESE México
Juan Iván Nieto Hipólito, FIAD-UABC, México
José Antonio Michel Macarty, FIAD-UABC, México

Contenido

Vol. 7, No. 1, mayo-agosto 2013

EDITORIAL

Nueva era

7

Este número cierra y abre a la vez una nueva era en la publicación de DIFU100ci@, ya que se contará, a partir de este número, con una nueva dirección a cargo del Dr. Jorge Flores Troncoso, quien asume la responsabilidad de la edición. Continuando con el apoyo de nuestros colegas, se presentan cuatro trabajos que esperamos sean de mucho interés para el lector.

Diseño y Construcción de un Módulo para Pruebas de Levitación Magnética

8

por Aurelio Beltrán et al. pp. 8 – 16

En este documento se presenta el diseño y construcción del módulo de levitación magnética IEBG-CA59010, el cual comprende el análisis, diseño y selección de cada una de las partes del levitador magnético, acondicionamiento de las señales tales como: las de control del electroimán y sensor de posición, alimentación de la etapa de potencia y sensor. Por otro lado, las señales se acondicionan para la aplicación de algoritmos de control con una tarjeta de adquisición de datos, en este caso el software LabView y el módulo NI-Elvis de National Instruments. Se realizó un análisis de los diferentes tipos de dispositivos levitadores que se encuentran en la literatura especializada, determinando las características de funcionamiento más importantes de cada uno de ellos. Presentando el dispositivo final obtenido y las pruebas de funcionamiento.

INVESTIGACIÓN

Compresión LZW en un sistema de comunicaciones MIMO inalámbrico

17

por R. Ibarra et al. pp. 17 – 24

En este artículo se implementa una compresión de datos tipo LZW aprovechando los patrones de repetición que se presentan al modular bits de información por medio del esquema QPSK. El algoritmo empleado es de tipo dinámico, ya que se calculan simultáneamente los códigos de salida cifrados y las nuevas entradas para la formación de un diccionario, el cual, por tener estas características se le conoce como tipo semi-adaptativo y además no requiere ser conocido por el receptor. Enseguida los datos se remodulan y transmiten por un canal inalámbrico MIMO, en donde se ha implementado el codificado espacio-tiempo propuesto por Alamouti como solución a los efectos del desvanecimiento. El algoritmo se ha implementado sobre la plataforma de programación de MATLAB[®] para simular el sistema y comparar su desempeño frente a un esquema tradicional.

Algoritmo para la detección de zonas poco texturizadas en imágenes reales, para su uso en sistemas de visión estereoscópica

25

por S. Ibarra et al., pp. 25 – 31

El uso de sistemas de visión estereoscópica en entornos reales no estructurados, es más común cada día. Una de las características que presentan las imágenes reales, es que pueden existir zonas de baja textura cuyo contenido de información no sea suficiente para identificar un empate entre un par de píxeles. Los denominados algoritmos locales degradan notablemente su rendimiento cuando se encuentran con imágenes que presentan esta particularidad. En este trabajo se presenta un algoritmo que detecta las zonas de baja textura, evitando encontrar falsos empates, marcándolos para su posterior procesamiento. Los resultados muestran una mejora significativa en la calidad de los mapas de disparidad cuando el criterio de detección de píxeles en zonas de baja textura, es utilizado.

DIFUSIÓN

Uso del campo magnético de la tierra para localizar a las personas en interiores **32**

por Carlos Eric Galván et al., pp. 32 – 36

La localización de un individuo es un elemento fundamental de información para el aspecto comercial y para aplicaciones basadas en la localización. El sistema de posicionamiento global es la tecnología mas eficiente para el posicionamiento en exteriores pero interiores no es funcional, varios enfoques tecnológicos han sido propuestos para abordar este problema. En este sentido, en este artículo se presenta un enfoque interesante basado en el uso de las variaciones del campo magnético de la tierra para estimar la localización de un individuo en interiores.

Nueva era ¿el final del tunel?

ESTE número cierra y abre a la vez una era para este medio de difusión de la ciencia y del desarrollo tecnológico. Se cierra una etapa que esperamos haya sembrado raíces como para permanecer y crecer. A partir este número y del próximo informe a INDAUTOR, se contará con un nuevo editor en jefe, el Dr. Jorge Flores Troncoso, quien seguramente dará fuerza a este proyecto de difusión que tanto hace falta. Se esperan cambios que, esperamos, ofrecerán una mayor apertura a la colaboración de profesores-investigadores de muchos lugares geográficos. Un cambio importante será la publicación de trabajos en cuanto sean aceptados; no habrá que esperar los meses de abril, agosto y diciembre para que un artículo aceptado sea publicado. También se harán cambios en el formato de los trabajos, pues se dispondrá de una plantilla $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ y una plantilla en Word, de modo que el autor podrá ver la versión final de su trabajo (*camera ready*), en su propio computador.

Deseamos que esta nueva era traiga un aumento en el número de trabajos publicados, así como la continuidad en la calidad, de modo que la revista sea inscrita en los índices de revistas científicas reconocidas internacionalmente.

© agosto 2013 G. Miramontes

correo-e: gmiram2002@yahoo.com

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

Jorge Flores Troncoso
U. Autónoma de Zacatecas

CONSEJO EDITORIAL

FUNDADOR

[Gerardo Miramontes de León](#)

U. Autónoma de Zacatecas

[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

[Geminiano D. Martínez Ponce](#)

CIO, México

[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.

Diseño y Construcción de un Módulo para Pruebas de Levitación Magnética

Aurelio Beltrán, Iván E. Beltrán, Alejandro Chacón, Carlo A. Beltrán, y Rafael Villela

Design and construction of a test bench for magnetic levitation

Recibido: mayo 12, 2013

Aceptado: junio 10, 2013

Palabras clave: electroimán; sensor; levitación; acondicionamiento; LabView; NI-ELVIS.

Abstract:

This paper presents the design and construction of the maglev module IEBG-CA59010, which includes analysis, design and selection of each part of the magnetic levitator, signal conditioning such as electromagnet and position sensor control, power amplifier and sensor power. Furthermore, the signals are conditioned to implement control algorithms with data acquisition board, in this case the LabView software and the NI-Elvis National Instruments. The analysis of different magnetic levitators was performed in the literature by checking their most important characteristics. The magnetic levitation prototype and results are presented here.

Keywords: Electromagnet, sensor, levitation, conditioning, LabView, NI-ELVIS.



NO de los principales problemas que se presentan para lograr una alta eficiencia en la enseñanza en las Universidades Públicas es la falta de módulos de experimentación que permitan a los estudiantes lograr la excelencia en el aprendizaje. Para complementar los conocimientos obtenidos mediante la teoría en la orientación de control y automatización se requiere el empleo de módulos para experimentar con distintos algoritmos de control y formas de modelado para estudiar las diferencias.

Uno de los principales problemas para lograr una alta eficiencia en la enseñanza en las Universidades Públicas es la falta de módulos de experimentación que permitan a los estudiantes lograr la excelencia en el aprendizaje

Considerando que la levitación magnética motiva, sorprende y tiene un gran impacto según se reporta en la li-

teratura [1]-[3], por lo que se trabajó en un módulo para experimentar debido a sus características principales.

Para el diseño de cada una de las partes del módulo se hizo investigación en artículos especializados en los que se presentan diferentes tipos de levitadores magnéticos, construidos en los centros de educación o por empresas dedicadas a la producción de equipos para laboratorio. Se encontró que los levitadores usualmente tienen las siguientes características: el objeto a levitar es una esfera metálica y el sensor de posición esta constituido por un diodo emisor infrarrojo y un fototransistor colocados uno frente al otro en los costados de la estructura [1][3][6]. Debido a este tipo de estructura el punto de equilibrio en el control de posición es un punto estático. Por otro lado, existen los prototipos fabricados por empresas como Quanser <http://www.quanser.com/>, ECP <http://www.ecpsystems.com/>, FBK <http://www.fbk.com/>, las cuales ofrecen dispositivos similares, excepto ECP que con su prototipo (Model 730: Magnetic Levitation) el cual permite levitar un disco magnético con un grado de libertad tanto utilizando fuerzas de atracción como de repulsión ya que cuenta con dos electroimanes uno en la parte superior y otro en la parte inferior, con dos sensores de posición laser.

En este artículo se detalla el diseño, construcción y modelado de un levitador magnético que tiene buenas características de funcionamiento y que se puede considerar de bajo costo. Se utiliza el módulo Educational Laboratory Virtual Instruments Statement NI-ELVIS, una computadora y el software LabView para realizar las pruebas de funcionamiento.

DISEÑO DE LAS PARTES DEL LEVITADOR MAGNÉTICO

En esta sección se presenta el análisis y diseño de las partes que conforman el levitador como son: circuito del sensor de posición, actuador (bobina o electroimán), circuito de acondicionamiento de señales, etapa de potencia del actuador, complementado con el programa para elaboración del controlador y tarjeta de comunicación entre la computadora y el levitador magnético.

Del análisis realizado sobre los diferentes tipos de levitadores encontrados en la literatura, las pruebas realizadas sobre modelos preliminares y con los resultados obtenidos se desarrolló el diseño mostrado en la Fig. 1, el cual cuenta con las mejores características de las diferentes estructuras analizadas.

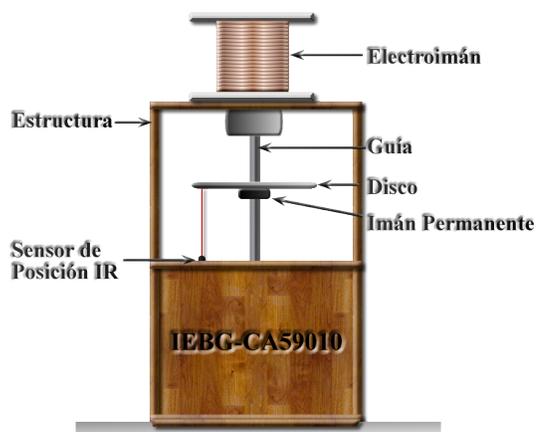


Figura 1. Estructura propuesta para el Levitador Magnético IEBG-59010.

Diseño del electroimán

Para el diseño del electroimán se utilizó la información proporcionada en [7], donde se hace un análisis para optimizar las dimensiones de éste como son diámetro del núcleo, grosor del embobinado y longitud, a partir del diámetro de una esfera utilizada como elemento de levitación. En la Fig. 2, se muestra la estructura del núcleo utilizado para el cálculo en dicho análisis.

Para encontrar el diámetro óptimo de la bobina se propone la ecuación (1).

$$\Delta = 0.8D, \quad (1)$$

donde Δ es el diámetro de la bobina y D el diámetro de la esfera a levitar.

El grosor de la bobina se calcula con (2).

$$w = 0.5D, \quad (2)$$

donde w es el grosor de la bobina.

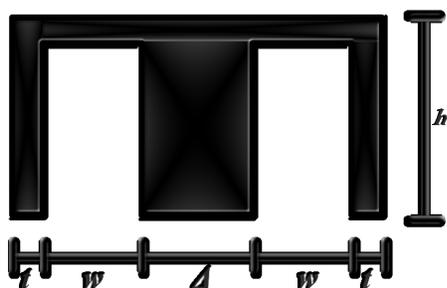


Figura 2. Núcleo utilizado para los cálculos del solenoide.).

La longitud de la bobina está dada por (3)

$$h = 2w, \quad (3)$$

donde h es la profundidad (longitud) del embobinado.

$$a = \frac{D}{9}, \quad (4)$$

donde a es la constante de decaimiento de la bobina.

Finalmente la coraza de la bobina debe tener un grosor t , que se obtiene con (5).

$$t = 0.1D \quad (5)$$

Tomando en cuenta las consideraciones de [1][2][7], para obtener un dispositivo de prueba de bajo costo y las características de un sistema comercial. Se utiliza la información obtenida para calcular la bobina.

Las dimensiones obtenidas considerando la masa de la esfera a levitar de $M = 0.6$ Kg, la misma masa que el objeto utilizado en la estructura propuesta, considerando que lo que interesa es la fuerza de atracción sin importar la forma del objeto atraído. Dicha esfera tiene un diámetro de 4.7 cm, por lo que las dimensiones obtenidas para la bobina son las siguientes:

$$\Delta = 0.8 \times 4.7 = 3.8 \text{ cm}$$

$$w = 0.5 \times 4.7 = 2.35 \text{ cm}$$

$$h = 2 \times 2.35 = 4.7 \text{ cm}$$

Con los datos obtenidos se procedió a la construcción del electroimán¹, con las consideraciones siguientes: el embobinado es manual y no contará con coraza, se necesitará un espacio mayor para obtener una fuerza de atracción equivalente, por lo que la bobina tendrá 6 cm de longitud, el cálculo del número de vueltas se hace considerando la sección transversal del conductor y dos bobinas en paralelo, ya que de acuerdo con [4][7], permiten un comportamiento térmico más adecuado. El número de espiras se calculó utilizando un alambre magneto #23 con una capacidad de corriente de 1.6 Amperes o 3.2 Amperes entre ambas bobinas. El resultado son 1000 vueltas con una longitud de 198 m, una resistencia de 6 Ω , 1 Kg de peso, de acuerdo con los datos proporcionados por el fabricante de alambre magneto. El electroimán construido se muestra en la Fig. 3. Donde se puede apreciar el resultado final.



Figura 3. Electroimán diseñado y construido para el levitador magnético.

El electroimán tiene una inductancia de 100 mH.

Selección del objeto a levitar

El objeto a levitar es un disco duro de computadora arreglado con un buje y un imán permanente pegado a éste. Ya que los desplazamientos son en una guía de aluminio. Se seleccionó porque puede reflejar de manera eficiente un rayo de luz infrarrojo y detectarse por un fototransistor lo que

¹ Los autores recomiendan comprar el que reúna las características más cercanas a las calculadas.

permite medir de manera eficiente la posición. El disco se muestra en la Fig. 4.



Figura 4. Disco acondicionado como objeto a levitar.

Circuitería necesaria

Como en las pruebas se utiliza el módulo de National Instruments NI Elvis entonces la señales de control y del sensor de posición del disco se acondicionan de acuerdo con las características de los puertos de entrada y salida análogas entregadas por éste, cuyo valor máximo es 10 V, por esto se diseñó un arreglo de un amplificador operacional con dos transistores en configuración darlington como se muestra en la Fig. 5. Con este arreglo se eleva el voltaje a un valor máximo de 20 V y se maneja adecuadamente la corriente que exige el electroimán para atraer el objeto a levitar.

Otra de las señales importantes es la proporcionada por el sensor de posición la cual se acondiciona para ser utilizada en el control del sistema con el software de LabView con el circuito de la Fig. 6. El fototransistor entrega 5 V cuando no incide luz sobre él, con el arreglo se acondiciona de tal manera que a la entrada análoga del módulo NI-ELVIS se tenga un valor máximo de 10 V.

Módulo de levitación construido

El levitador construido tiene la estructura con las mejores características de los levitadores de ECP, Quasner y FBK. Por lo anterior se considera que es una estructura híbrida que permite cumplir con los planteamientos iniciales de

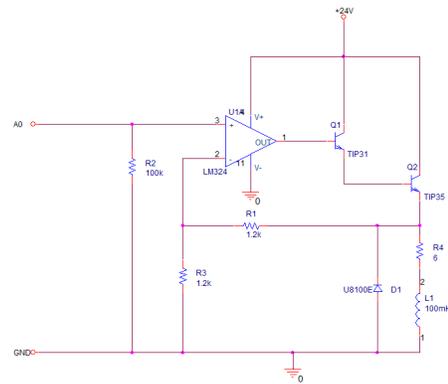


Figura 5. Circuito que controla el voltaje aplicado en la bobina.

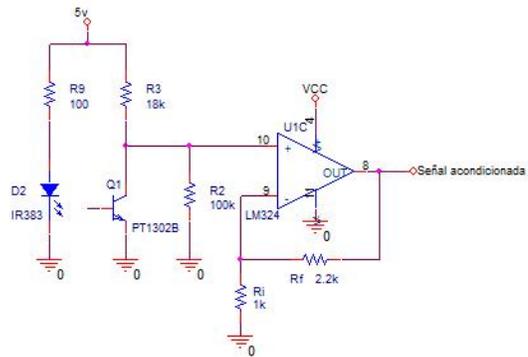


Figura 6. Circuito de polarización y acondicionamiento del sensor.

obtener un prototipo económico y con buenas características de funcionamiento. El resultado final se muestra en la Fig. 7.

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS PARTES DEL LEVITADOR

En esta sección se muestran los resultados de las pruebas realizadas en el sensor de posición y electroimán.

Análisis del comportamiento del electroimán

Una vez construido el levitador magnético se procedió a analizar su comportamiento, en este caso el electroimán.



Figura 7. Levitador magnético IEBG-CA59010 construido.

Para lo cual se colocó el objeto a ser atraído a diferentes distancias midiéndose el voltaje requerido para elevarlo. Los datos obtenidos se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Voltajes aplicados al electroimán y posición del disco.

Voltaje (V)	Posición (cm)
6.8	3.4
7.6	3.5
8.4	3.7
9.2	3.9
9.6	4
10	4.2
10.4	4.4

Los valores obtenidos se procesaron utilizando un software para la generación de gráficas, el resultado se muestra en la Fig. 8. La respuesta muestra que tiene un comportamiento no lineal.

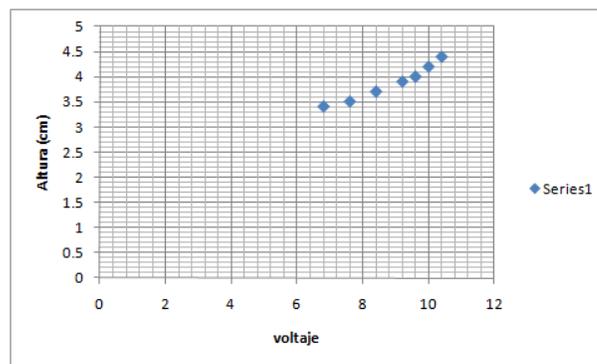


Figura 8. Gráfica voltaje de atracción de la bobina vs. altura del disco.

Análisis del comportamiento del sensor

Para determinar la posición del dispositivo a levitar, se utiliza un sensor óptico conformado por un diodo infrarrojo (IR383) con el fototransistor (FTP 1302B), el cual se sitúa en la parte inferior del sistema como se indica en la Fig. 1, lo cual permite medir un rango amplio de posiciones comparativamente con [1][5][8].

Para realizar las mediciones pertinentes se ubica el objeto a levitar (disco), a una distancia prefijada y se mide el voltaje entregado por el sensor de posición. De esta manera se obtuvieron los valores que se muestran en la tabla 2. Las distancias están medidas a partir del final del núcleo a la superficie reflejante del disco. Como el centro del disco tiene un espesor mayor, y aunque la distancia que el disco puede desplazarse es de 7 cm, la zona de levitación se limita a 4 cm.

Los valores obtenidos se grafican para ver el comportamiento del sensor. El resultado se muestra en la Fig. 9.

Finalmente se obtiene la ecuación linealizada de la respuesta del sensor de posición utilizando mínimos cuadrados (6). Esta ecuación se utiliza en la programación en el programa de software utilizado para el control, en este caso LabView para determinar la posición medida por el sensor a partir del voltaje entregado y poder compararla con el valor de posición deseado.

$$V_s = -10.4 + 709.23x, \quad (6)$$

Tabla 2. Voltajes del sensor vs. distancia entre disco y el solenoide.

Distancia (m)	Voltaje (V)
0.072	5.74
0.067	5.45
0.062	4,85
0.057	4.32
0.052	3.8
0.047	3.04
0.042	2
0.037	1.1
0.032	0.71

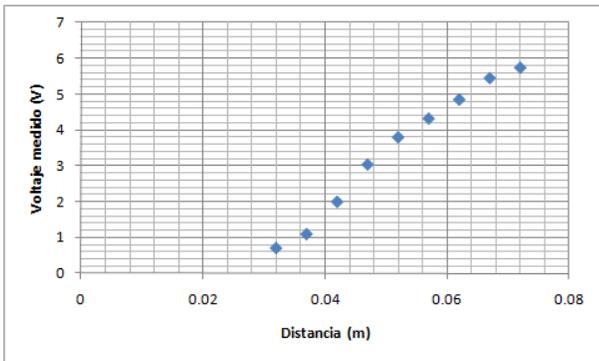


Figura 9. Gráfica voltaje del sensor vs. distancia entre disco y solenoide.

donde x representa la distancia entre el disco y solenoide y V_s el voltaje entregado por el sensor.

Se realizaron pruebas de la distancia a la que se encuentra el disco a levitar y la corriente necesaria para elevarlo. Se repite el procedimiento anterior para obtener la ecuación linealizada.

$$I_a = -1.484 + 100.89x, \quad (7)$$

donde I_a es la corriente requerida para atraer el objeto a levitar y x es la distancia de separación entre el electroimán y el objeto a levitar.

MODELADO MATEMÁTICO DEL LEVITADOR

El sistema de levitador magnético diseñado no es una estructura convencional ya que el disco a levitar tiene unido un imán permanente del tipo anillo de Neodymium (Nd-Fe-B), el cual modifica el comportamiento del sistema al contribuir con una fuerza de atracción adicional al moverse el disco acercándose o alejándose por la fuerza de atracción del electroimán.

El campo magnético del sistema se puede expresar por (8).

$$\vec{B}_t = \vec{B}_e + \vec{B}_m, \quad (8)$$

donde \vec{B}_t es el campo magnético total, \vec{B}_e es el campo inducido por el electroimán y \vec{B}_m es el campo magnético inducido por los imanes NIB.

$$\phi(t) = \phi_e + \phi_{Mx}(t), \quad (9)$$

donde $\phi(t)$ es la relación de enlace flujo-corriente del electroimán y $\phi_{Mx}(t)$ es el flujo introducido por los imanes NIB. La función flujo-corriente del electroimán en función de la posición esta dada por

$$\phi_e(x) = L(x(t)i(t)) \quad (10)$$

Por lo que la relación del flujo magnético total es

$$\phi(t) = L(x(t)i(t)) + \phi_{Mx}(t), \quad (11)$$

donde $i(t)$ denota la corriente a través del electroimán, y $x(t)$ denota el desplazamiento del objeto levitado a la parte inferior del electroimán. $L(x)$ indica la inductancia cuando el objeto levitado se asume que es de hierro/acero y se puede considerar como una función de $x(t)$, usando una aproximación $L(x)$ se puede expresar como (12)

$$L(x) = L_1 + \frac{L_o}{1 + \frac{x}{a}}, \quad (12)$$

donde $L_o = L(0) - L(\infty)$, $L_1 = L(\infty)$ y a es un coeficiente constante.

De acuerdo a la teoría electromagnética, la co-energía magnética, denotada como W , se puede calcular (13).

$$W(t) = \int_0^{i(t)} \phi(\vec{l}, x(t)) d\vec{l} \quad (13)$$

$$W(t) = \frac{1}{2} \left(L_1 + \frac{L_o}{1 + \frac{x(t)}{a}} \right) i^2(t) + \phi_M(x(t)i(t)) \quad (14)$$

Al introducir la fuerza magnética, denotada como $f(t)$ se determina la co-energía magnética de acuerdo con

$$f(t) = \frac{\partial W(t)}{\partial X_a} \quad (15)$$

$$m \frac{d^2 x(t)}{d^2 t} = mg + f(t) + f\dot{x} \quad (16)$$

$$m \frac{d^2 x(t)}{d^2 t} = mg - \frac{1}{2} \frac{L_o i^2(t)}{a \left(1 + \frac{x(t)}{a} \right)^2} + \frac{d\phi_M x(t)}{dt} \quad (17)$$

Comparado con los modelos usados en [5][9]; el tercer término en el lado derecho en (17) es nuevo y éste es la fuerza electromotriz FEM inducida por el imán permanente NIB.

Con un análisis del circuito, la perspectiva eléctrica del electroimán se puede modelar como

$$u(t) = Ri(t) + \frac{d(Lx(t)i(t))}{dt} + \frac{d\phi_M x(t)}{dt}, \quad (18)$$

donde R es la resistencia de bobina, y $u(t)$ es el voltaje de entrada a la bobina.

Debido a la dificultad de obtener los valores del modelo matemático, se optó por obtener un modelo de manera experimental en base a aplicar una entrada escalón y obtener los datos de la respuesta utilizando el módulo NI-Elvis resultando (19).

$$\frac{X(s)}{V(s)} = 0.37 \frac{234.81}{s^2 + 11.11s + 234.81} \quad (19)$$

Modelo que no logra contener todas las características del sistema pero que es una aproximación medianamente buena.

Control de posición PID

Finalmente con el modelo del sistema obtenido se calcularon las ganancias del controlador PID utilizando el método de cancelación de polos.

$$K_p = 1$$

$$K_i = 21.28$$

$$K_v = 0.09.$$

Para la aplicación del controlador se utilizó el software de LabView en el cual se programó el sistema de control y se utilizó el módulo NI Elvis para su aplicación. En la Fig. 10, se muestra el panel del usuario.

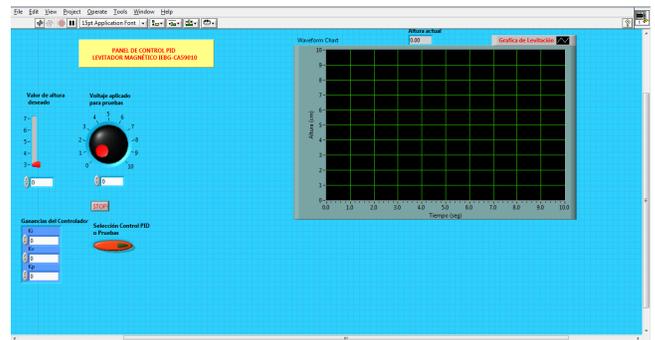


Figura 10. Panel frontal del control PID en LabView.

RESULTADOS

El comportamiento del levitador se analizó a partir de las respuestas obtenidas al aplicar el sistema de control en lazo cerrado. Se observó la respuesta cuando al sistema se le programa un valor de posición deseada.

- **Caso 1.** Alcanzar una posición de 3.7 cm sin perturbaciones. El resultado obtenido se muestra en la Fig. 11.
- **Caso 2.** Una segunda prueba consistió en exigirle al sistema que siga una trayectoria, para lo cual se le exigió un valor de posición representado por una onda senoidal de amplitud de 1 cm con un valor de referencia de 4.4 cm.

El valor deseado se muestra en la Fig. 12, y el resultado obtenido en la Fig. 13.

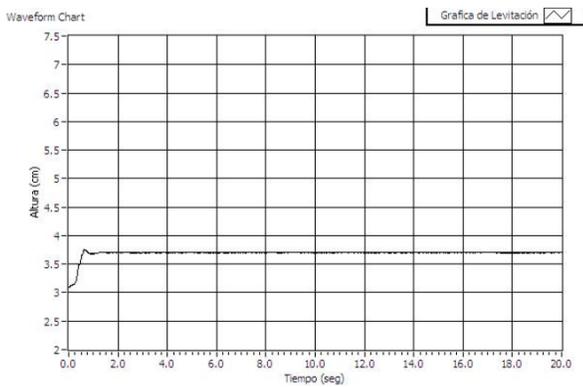


Figura 11. Respuesta del sistema a un valor de posición fijo.

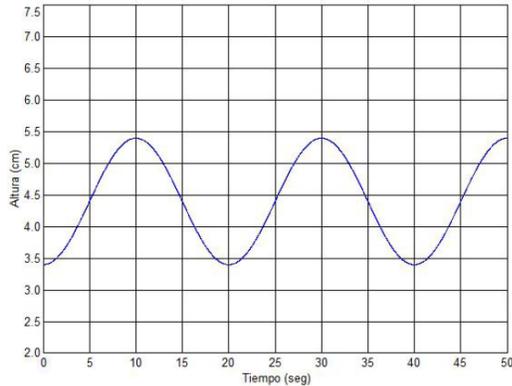


Figura 12. Trayectoria de posición deseada.

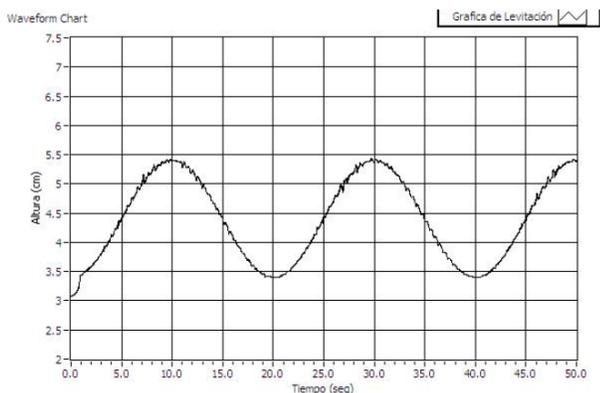


Figura 13. Respuesta del sistema a una trayectoria de posición deseada.

Un análisis de las respuestas obtenidas muestra que cuando se requiere una posición deseada fija, la respuesta presenta un sobrepaso situación no deseada ya que el controlador se diseñó para una respuesta de primer orden (sin sobrepaso). En la respuesta de seguimiento de trayectoria el resultado es bastante bueno por lo que el sistema se puede considerar que trabaja bastante bien. Sin embargo, el modelo matemático obtenido no logra emular el comportamiento no lineal del sistema. La robustez del controlador PID puede minimizar la falta de un buen modelo logrando que el sistema trabaje de manera aceptable.

CONCLUSIONES

- El levitador magnético obtenido muestra un funcionamiento robusto y con excelentes condiciones para utilizarse en pruebas de algoritmos de control.
 - El levitador magnético es relativamente económico comparado con levitadores comerciales.
- La circuitería de acondicionamiento de señales del levitador funciona según lo previsto.
- El algoritmo de control PID permite evaluar el comportamiento del levitador.
- El sistema modifica su comportamiento después de un tiempo relativamente grande de funcionamiento.

Bibliografía

- [1] Milica B. Naumovic, Boban R. Veselic “Magnetic Levitation System in Control Engineering Eduaction” Series: Automatic Control and Robotics Vol- 7, No. 1, 2008, pp. 151-160.
- [2] Lundberg, Kenet H, LilienKamp, Katie A. and Guy Marsden “Low-Cost Magnetic Levitation Project Kits” IEEE Control Systems Magazine, Vol. 24, No. 5, October 2004, pp. 65-69.
- [3] Guy Marsden “Levitation” Revista Nuts & Volts September 2003 pp. 59-62.

- [4] Lloyd H. Dixon “Magnetics Design for Switching Power Supplies” Application notes Microchip Technology pp. 1-10.
- [5] Walter Barie and John Chiasson, “Linear and Non-linear State-Space Controllers for Magnetic Levitation”, INTERNATIONAL JOURNAL OF SYSTEM SCIENCE, VOL. 27, NO. 11, APRIL 1996, pp. 1153-1163
- [6] Ahmed El Hajjaji and M. Ouladsine, “Modeling and Nonlinear Control of Magnetic Levitation Systems” IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 48, No.4, AUGUST 2001, pp. 831-838.
- [7] William G. Hurley “Electromagnetic Design of a Magnetic Suspension System”, IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION, VOL. 40, No.2, May 1997, pp. 124-130.
- [8] William G. Hurley “PWM Control of a Magnetic Suspension System” IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION, VOL. 47, NO. 2, MAY 2004, pp. 165-173.
- [9] R. Sinha and M.L. Nagurka “ANALOG AND LABVIEW-BASED CONTROL OF A MAGLEV SYSTEM WITH NI-ELVIS” International Mechanical Engineering Congress and Exposition November 5-11, 2005, Orlando, Florida USA IMECE2005-81600.

Acerca del autor o autores

Aurelio Beltrán Obtuvo el grado de Ingeniero Electricista de la Universidad Autónoma de Zacatecas en 1988 y Maestría en Ingeniería de La Universidad Autónoma de Zacatecas en 2006, docente en la Universidad Autónoma de Zacatecas desde 1984. Campos de interés: control automático, energías renovables y control de inversores multinivel de bajo contenido de armónicos.

Iván E. Beltrán Obtuvo el grado de Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica en 2010. Campo de interés: Control Automático.

Alejandro Chacón Obtuvo el grado de Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica de la Universidad Autónoma de Zacatecas en 1990 y de Maestría en Ciencias Nucleares de la Universidad Autónoma de Zacatecas en 2009. Campos de interés: comunicaciones inalámbricas e instrumentación en ciencias nucleares.

Carlo A. Beltrán Obtuvo el grado de Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica de la Universidad Autónoma de Zacatecas en 2013. Campos de interés: Control Automático y biotecnología.

Rafael Villela Obtuvo el grado de Ingeniero Electricista de la Universidad Autónoma de Zacatecas en 1984, Maestría en Matemáticas Aplicadas por la Universidad Autónoma de Zacatecas en 2001 y el Doctorado en Educación de la Universidad de Durango Campus Zacatecas en 2007. Campos de interés: sistemas de control y automatización, robótica, ahorro y calidad de la energía y la probabilidad.

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 ωk , 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 ωk . 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 ω
 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** ωk existe en el diccionario: **entonces**
 11: $\omega k = \omega$, repetir
 12: **de otra forma, si** ωk no existe en el diccionario **entonces**
 13: Asignar código a $\omega \rightarrow$ salida;
 14: Agregar ωk 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(ωk) **entonces**
 14: apilar $k \rightarrow$ pila
 15: CODE(ω) = 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].

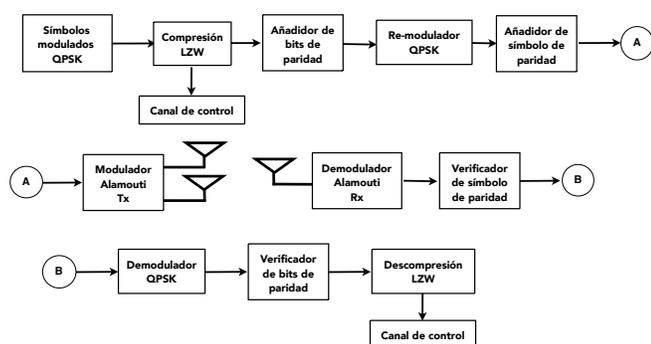


Figura 1. Diagrama a bloques del sistema propuesto.

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 η_1 y η_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 continúa 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 carácter. Para este caso solamente tenemos a s_1 como traducción del primer código y como primer y único carácter. 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

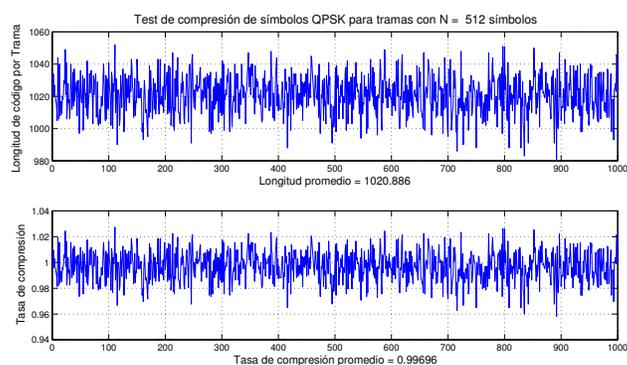
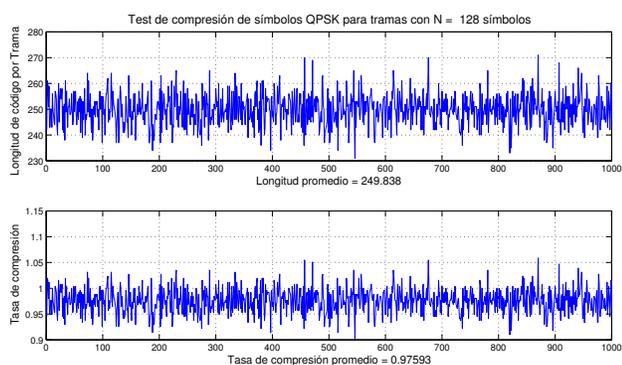


Figura 2. Prueba de compresión para tramas de 128 símbolos QPSK

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[®] 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

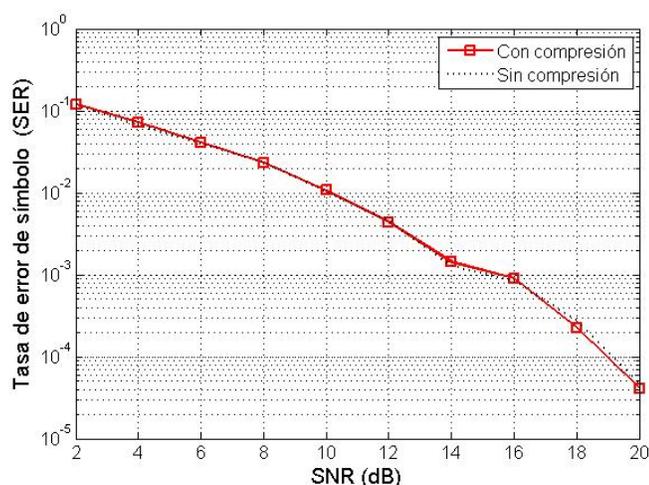


Figura 4. Comparación de la tasa de error de símbolo al aplicar compresión LZW a las tramas de símbolos QPSK contra tramas de símbolos QPSK sin comprimir.

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.

Algoritmo para la detección de zonas poco texturizadas en imágenes reales, para su uso en sistemas de visión estereoscópica

S. Ibarra Delgado, J. Flores Troncoco, H. Gamboa Rosales, R. Soule de Castro

Algorithm for detection of low-textured zones in real images used in stereoscopic vision systems

Recibido: junio 1, 2012
Aceptado: agosto 5, 2012

Palabras clave: Visión Estereoscópica; técnicas de agregación; medidas de costo.

Abstract:

The use of stereoscopic vision systems in no-structured real scenes is a common task today. One feature in real images is the presence of low-textured regions with no enough information to select a correct match between two pixels. Local algorithms reduce remarkably his performance in this kind of images. In this work we show an algorithm for detection of low-textured zones, this algorithm avoids to find incorrect matches, the incorrect matches are marked for a posterior process. Results show an improvement in the accuracy on the disparity maps when this algorithm is used.

Keywords: Stereoscopic vision; aggregation techniques; matching cost function.

EN las últimas décadas ha existido un desarrollo notable en los sistemas de visión estereoscópica. Se han implementado una gran cantidad de algoritmos, que con bastante precisión, encuentran el mapa de disparidad entre dos imágenes. La gran mayoría de estos algoritmos han sido probados bajo el conjunto de imágenes de prueba de [1], sitio que se ha convertido en referencia principal para la prueba de la calidad de los algoritmos de visión estereoscópica. Este sitio provee un conjunto de imágenes de prueba sintéticas, así como también sus *ground truth*. Sin embargo dentro de los nuevos retos planteados por la comunidad de visión por computadora [2], se plantea el probar los algoritmos de visión estéreo con imágenes reales, ya que éstas presentan un conjunto de retos que no se presentan en las imágenes sintéticas. Entre estos retos se encuentra el manejo de distorsiones radiométricas, zonas de baja textura y la carencia de *ground truth* de los mapas de disparidad.

Dentro de los nuevos retos planteados por la comunidad de visión por computadora se encuentran el manejo de distorsiones radiométricas, y zonas de baja textura

Aunque han sido desarrollados muchos algoritmos de visión estereoscópica, es posible distinguir una serie de estados comunes entre ellos [3]. Inicialmente por medio de un pre proceso las imágenes son alineadas y rectificadas, lo cual facilita los siguientes procesos. Además un filtro de suavizado es aplicado con el objetivo de reducir el ruido en las imágenes. Posteriormente en un primer estado, se calcula el costo de los empates utilizando una medida de similitud entre un par de píxeles, esta medida es calculada por medio de una función de costo la cual puede utilizar medidas paramétricas o no paramétricas. En el segundo estado las medidas de costo son agregadas sobre una región de soporte. Este estado extrae información del vecindario del píxel de referencia y se agrega esta información en una función que tiene como objetivo encontrar una medida de costo más confiable. En el tercer estado el mapa de disparidad es calculado por medio de un método de optimización local o global. Finalmente, en un cuarto estado el mapa de disparidad es refinado.

Utilizando al marco de referencia anteriormente mencionado, la comunidad de visión por computadora ha propuesto una gran cantidad de algoritmos de correspondencia estereoscópica. Los cuales pueden ser clasificados dentro de dos grandes categorías de acuerdo al método de optimización implementado: los denominados algoritmos locales y los algoritmos globales [2]. Los algoritmos globales presentan mejores resultados en términos de precisión. Desafortunadamente, la cantidad de recursos y tiempo que estos consumen, en la mayoría de los casos no lo hacen adecuados para implementaciones que deban cumplir con las restricciones impuestas por los sistema de tiempo real. Por otro lado los algoritmos locales presentan pobres resul-

tados en relación con su precisión, sin embargo su tiempo de procesamiento es menor. Las investigaciones que se han llevado a cabo recientemente [4,5,6] presentan funciones de costo más robustas y técnicas de agregación adaptables [7,8] que permiten que los algoritmos locales obtengan resultados más precisos, comparables a los alcanzados por los algoritmos globales y que permiten obtener tiempos de procesamiento en tiempo real.

La comunidad de visión por computadora ha propuesto una gran cantidad de algoritmos de correspondencia estereoscópica

Las técnicas de post procesamiento del mapa de disparidad han mostrado mejorar sustancialmente la precisión de los mismos [5]. Dentro de estas técnicas se encuentran la detección de atípicos, interpolación, ajuste de la discontinuidad de profundidades, refinamiento a nivel sub-píxel, entre otros. En este trabajo se presenta un algoritmo que calcula el mapa de disparidad de un par de imágenes estéreo, utilizando una medida de costo robusta y un método de agregación adaptable. Además el pos proceso de interpolación es llevado a cabo por medio de una selección previa de píxeles fuertes o débiles dependiendo de si se encuentran en una zona texturizada o no texturizada. La principal contribución del presente trabajo es el desarrollo de una medida que permite identificar cuando un píxel se encuentra en una zona de baja textura.

El resto del presente trabajo se encuentra organizado de la siguiente forma. La sección II describe la medida de costo combinada y la técnica de agregación utilizada en este trabajo. La sección III describe la técnica para detección de zonas de baja textura. En la sección IV se exponen los resultados obtenidos. Finalmente en la sección V se dan las conclusiones y se presenta el trabajo futuro.

MEDIDA DE COSTO, TÉCNICA DE AGREGACIÓN Y POST PROCESAMIENTO

Cuando son utilizados algoritmos locales para encontrar la correspondencia estéreo, se hace énfasis en utilizar una función de costo y una técnica de agregación apropiada. Esto es mostrado en detalle en los siguientes párrafos.

Medida de costo

Muchas aplicaciones de visión estéreo se llevan a cabo en escenarios donde las condiciones de luz varían con el tiempo. Es importante seleccionar una función de costo que garantice obtener una buena precisión bajo estas condiciones. Los resultados presentados en [9], muestran que una función de costo combinada presenta mejor rendimiento que las medidas individuales. Dado un pixel $p = (x, y)$ en la imagen izquierda y un pixel $pd = (x - d, y)$ en la imagen derecha para un valor de disparidad d , la medida de costo propuesta es presentada en (1)

$$C_{(p,d)} = \omega \frac{C_{AD}}{N_{AD}} + (1 - \omega) \frac{C_{SCT}}{N_{SCT}}, \quad (1)$$

donde:

ω Es el factor de peso asignado a cada una de las funciones de costo individuales.

C_{AD} Es el valor absoluto de la diferencia de las intensidades entre el pixel p y el pixel pd .

N_{AD} Es la constante de normalización asignada a la medida AD, con un valor de 255, la cual es la máxima diferencia para un valor codificado en 8 bits.

C_{SCT} Es la distancia de Hamming entre las dos cadenas de bits generadas por la Sparce Census Transform (SCT) [10], para los pixeles p y pd .

N_{SCT} Es la constante de normalización asignada a la medida SCT, que tiene un valor de 24, la cual es la máxima diferencia en la distancia de Hamming producida cuando se utiliza una ventana de 9×9 en la SCT.

Las constantes de normalización tienen el propósito de generar funciones de costo individuales en el rango de 0 - 1 y prevenir que los resultados sean sesgados hacia un componente individual. La ventaja de utilizar la SCT reside en generar un vector de información más pequeño comparado con la transformada Census tradicional, esto sólo produce una pequeña pérdida en la precisión [11].

Técnica de agregación

Basado en el hecho de que la zona de agregación solamente debe de contener pixeles que pertenecen al mismo plano de disparidad, existen dos técnicas de agregación que obtienen buenos resultados comparadas con la técnica de ventana fija. Una técnica llamada *Adaptive Support Weight* (ASW) [12], construye una ventana fija y asigna pesos de soporte a cada elemento individualmente. El proceso de agregación es realizado tomando en cuenta estos pesos. La otra técnica llamada *Adaptive Window Shape* (AWS) se basa en ajustar la forma de la ventana utilizando solo pixeles que pertenecen al mismo espacio de disparidad. En este trabajo se aplica la técnica AWS, empleando una cruz de soporte para el proceso de agregación como es sugerido en [7].

El proceso de agregación trabaja de la siguiente forma. Dado un pixel p (pixel de referencia), se construyen cuatro brazos de longitud variable, tanto en la dirección horizontal (h_p^-, h_p^+) , como en la dirección vertical (v_p^-, v_p^+) como se muestra en la Fig. 1. Cada brazo termina cuando uno de los siguientes criterios se cumple:

- La diferencia de intensidades entre el pixel de referencia y el pixel en el brazo excede un umbral predeterminado.
- La longitud del brazo alcanza un valor máximo predefinido.

Para construir la región de soporte $U(p)$ para el pixel p se integran múltiples segmentos $H(q)$ sobre el segmento vertical $V(p)$ del pixel p , donde q es un pixel de soporte localizado en el segmento vertical $V(p)$. $H(q)$ provee un conjunto de pixeles de soporte válidos en el vecindario de $H(q)$. Las regiones de soporte son calculadas para el pixel $p = (x, y)$ en

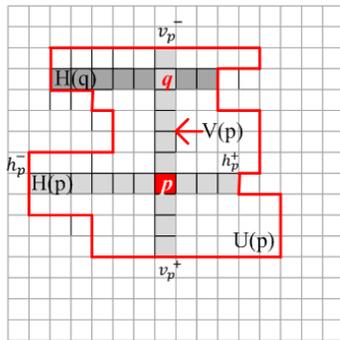


Fig. 1 Construcción de Cruz de Soporte

la imagen derecha y para el píxel $p = (x - d, y)$ en la imagen derecha. La región de soporte final es calculada con la intersección de las dos regiones de soporte calculadas.

Post procesamiento

Habiendo sido calculado el mapa inicial de disparidad, es común efectuar una serie de post procesos que tienen como objetivo refinar el mapa de disparidad. Uno de los post procesos que mayor impacto tienen en la precisión del mapa de disparidad es la interpolación. Para esto primero se debe pasar por el proceso de verificación izquierda-derecha (left right check validation, LRC) que tiene como objetivo encontrar las disparidades que fueron mal calculadas.

La verificación LRC parte de los mapas de disparidad calculados derecha-izquierda e izquierda-derecha y se considera que una disparidad en la imagen izquierda está correctamente calculada si se cumple con el criterio:

Si para una disparidad dada en el mapa de disparidad izquierdo $d_l = D_l(x, y)$, su correspondiente en el mapa de disparidad derecho $d_d = D_d(x + d_l, y)$ son iguales, entonces se considera que esa disparidad está correctamente calculada. En caso contrario, la disparidad es descartada y esa posición es marcada como falsa de tal modo que deberá ser tomada en cuenta para el posterior proceso de interpolación. Los píxeles que no pasan la verificación LRC son interpolados utilizando el método de interpolación lineal.

El algoritmo completo que es utilizado en este trabajo primero filtra las imágenes originales [13] que ya han sido rectificadas, y les aplica el filtro de la mediana con el obje-

tivo de suavizar las imágenes y quitar valores atípicos. Posteriormente para cada píxel en las imágenes suavizadas, se calcula la función de costo combinada AD+Census que es la entrada para el proceso de agregación adaptable. Una vez calculadas las funciones de costo agregadas se procede a encontrar el mínimo dentro de todas las disparidades para el píxel de referencia basado en la bien conocida técnica *Winner Takes All* (WTA). Finalmente se efectúa un proceso de refinamiento basado en la interpolación lineal.

ZONAS DE BAJA TEXTURA

El proceso de interpolación lineal trabaja sobre las posiciones (x, y) que no cumplen con el criterio LRC. Para estas posiciones se encuentran tanto a la derecha como a la izquierda de la posición en conflicto disparidades que hayan sido correctamente calculadas según la misma LRC. Sin embargo este criterio presenta problemas cuando se tienen zonas de baja textura, lo cual es muy común en imágenes reales. En la Fig. 2 a) se muestra una imagen con una zona poco texturizada, Las Fig. 2 b) y 2 c) muestran el mapa de disparidad izquierda-derecha y el mapa de disparidad derecha-izquierda. Se puede observar que en la zona de baja textura los dos mapas presentan fallos significativos.

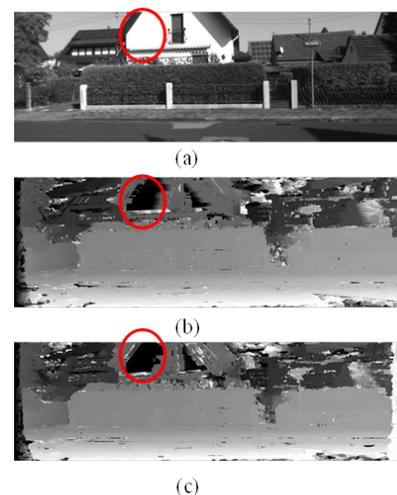


Fig. 2
 (a) Imagen original con zona de baja textura
 (b) Mapa de disparidad Izquierda-Derecha
 (c) Mapa de disparidad Derecha-Izquierda

Al utilizar el criterio de verificación LRC sobre los mapas de disparidad de la Fig. 2, se encuentra que para un conjunto significativo de píxeles dentro de la zona mencionada existe una disparidad de 0 (píxeles que se encuentran en el infinito), lo cual es notoriamente incorrecto. Esto sucede tanto en el mapa izquierda-derecha como en el mapa derecha-izquierda. Lo anterior debido a que en esta zona no hay suficiente información para identificar de una disparidad a otra, entonces para varias disparidades es calculado el mismo mínimo y el criterio WTA toma el primero que encuentra, que generalmente cae en la posición 0. Estas disparidades son consideradas como falsos positivos entonces al momento de realizar la verificación LRC, existen una cantidad significativa de valores que son considerados correctos y que son tomados por el proceso de interpolación como disparidades correctas, generando un cálculo de interpolación erróneo.

El problema que se presenta en la Fig. 2 tiene que ver con la cantidad de información con que se encuentra para realizar un empate, de aquí que sea común el proponer como alternativa de solución aumentar la región de agregación. Con lo anterior se presenta una mejora significativa en los mapas de disparidad calculados, sin embargo esto se logra a cambio de una gran cantidad de recursos utilizados y un tiempo de cómputo alto, lo cual no es aceptable para implementaciones de tiempo real.

Nosotros proponemos una alternativa de solución para evitar obtener falsos positivos y que estos no sean tomados en cuenta como píxeles de soporte en el proceso de interpolación. La idea se basa en que dado un píxel $p = (x, y)$ determinar si este se encuentra en una zona de baja textura, si es así, marcar esta posición en el mapa de disparidad como falsa, ya que la probabilidad de que éste sea un falso positivo es muy grande. Ahora el problema se convierte en encontrar un método que permita detectar zonas de baja textura.

Según [3] un píxel se encuentra en una zona de baja textura cuando el cuadrado del gradiente horizontal promediado sobre una ventana cuadrada se encuentra debajo de un umbral predeterminado. Al aplicar este criterio se encuentra un mapa de zonas de baja textura como se muestra en la Fig. 3 a). Sin embargo se puede observar que bajo este criterio existen zonas de baja textura que en el mapa de disparidad

se encuentran correctamente calculadas Fig. 3 b), y que si son marcados como falsos positivos, se perderían zonas que fueron correctamente calculadas.

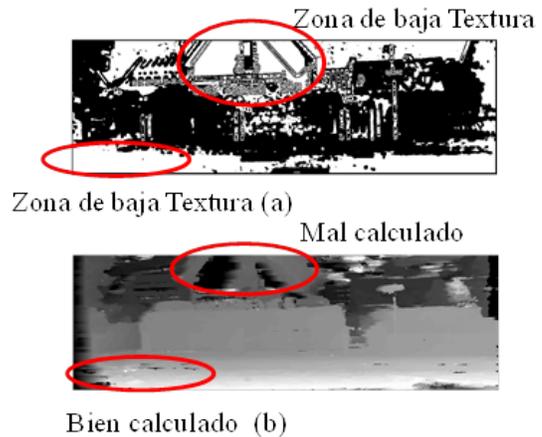


Fig. 3
 (a) Mapa con zonas de baja textura (blanco)
 Calculado con [3]
 (b) Mapa de disparidad

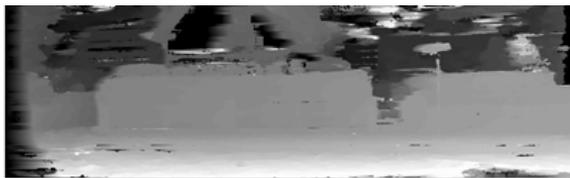
Proponemos una alternativa de solución para evitar obtener falsos positivos y que estos no sean tomados en cuenta como píxeles de soporte en el proceso de interpolación

La técnica de agregación que es utilizada en este trabajo [7], delimita la zona de agregación por medio de un umbral de diferencia de intensidad. Esto da una idea de cuan texturizado está el vecindario del píxel ancla. De tal modo que nosotros proponemos un criterio en el que se decide si un píxel se encuentra en una zona texturizada basada en la zona de agregación encontrada, de acuerdo al siguiente criterio: Un píxel se considera que se encuentra en una zona texturizada, si la suma del valor absoluto del píxel ancla, con todos los píxeles que se encuentran en la zona de agregación supera un umbral establecido. Bajo este criterio se

Tabla 1. Porcentaje de pixeles que pasan la verificación LRC.

Peso ω	Sin criterio de baja textura	Con criterio de baja textura
0.1	% 66.43	% 75.57
0.3	% 67.28	% 76.05
0.5	% 67.87	% 76.32
0.7	% 67.51	% 76.56
0.9	% 62.36	% 76.67

probó para diferentes valores, encontrando que un valor de umbral de 100 puntos en diferencia de intensidad, encuentra zonas de baja textura solo en las zonas que tienen falsos positivos. La Fig. 4. Muestra que se encuentra una zona de baja textura solamente en regiones que contienen falsos positivos, de tal modo que esta región es etiquetada como falso para el posterior proceso de interpolación.



(a)



(b)

Fig. 4

- (a) Mapa de disparidad
- (b) Zona de baja textura con criterio propuesto

RESULTADOS

El proceso de interpolación lineal es realizado tomando en cuenta las zonas de baja textura encontradas en el proceso detallado anteriormente. En la Fig. 5 se muestra el mapa

de disparidad generado después de aplicado este proceso, en ésta se puede observar que la zona que anteriormente presentaba falsos positivos es interpolada correctamente y que el mapa de disparidad presenta mejores resultados.



Fig. 5

Mapa de disparidad interpolado con el criterio de propuesto de baja textura

Para evaluar la medida de costo y la efectividad de la técnica propuesta se procedió a variar el peso ω y se calculó la precisión del mapa de disparidad tomando como criterio de empate correcto una diferencia de 2 puntos en la disparidad entre el mapa izquierda-derecha y el mapa derecha-izquierda bajo el criterio LRC. En la Tabla 1 se muestran los resultados, en todos los casos se puede observar que existe una mejora significativa al aplicar el criterio propuesto.

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este trabajo se presentó una técnica de detección de zonas de baja textura que permite refinar los mapas de disparidad con mayor precisión, los resultados muestran una

mejora significativa al utilizar la técnica propuesta. En el trabajo futuro se investigará como encontrar un criterio para zonas de baja textura para otro tipo de técnicas de agregación como es la ASW.

Bibliografía

- [1] <http://vision.middlebury.edu/stereo/>, 2013.
- [2] <http://hci.iwr.uni-heidelberg.de/Static/eccv2012/>
- [3] D. Scharstein and R. Szeliski, “A Taxonomy and Evaluation of Dense Two-Frame Stereo Correspondence Algorithms,” *IJCV*, vol. 47, no. 13, pp. 7-42, Apr. 2002.
- [4] N. Einecke and J. Eggert, “A Two-Stage Correlation Method for Stereoscopic Depth Estimation”, *Digital Image Computing: International Conference on Techniques and Applications (DICTA) 2010*, pp. 227-234, 1-3 Dec. 2010.
- [5] K. Ambrosch and W. Kubinger, “Accurate hardware-based stereo vision”, *Computer Vision and Image Understanding*, Volume 114, Issue 11, Pages 1303-1316, November 2010.
- [6] X. Mei, X. Sun, M. Zhou, S. Jiao, H. Wang and X. Zhang, ”On building an accurate stereo matching system on graphics hardware” *IEEE International Conference on Computer Vision Workshops (ICCV Workshops)*, pp.467,474, 6-13 Nov. 2011.
- [7] K. Zhang, J. Lu and G. Lafruit, “Cross-Based Local Stereo Matching Using Orthogonal Integral Images”, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol.19, no.7, pp. 1073-1079, 2009.
- [8] K. Yoon and I. Kweon, “Adaptive support-weight approach for correspondence search”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.28, no.4, pp. 650-656, April 2006.
- [9] L. De-Maeztu, A. Villanueva and R. Cabeza, “Stereo matching using gradient similarity and locally adaptive support-weight”, *Pattern Recognition Letters*, Volume 32, Issue 13, Pages 1643-1651, 2011.
- [10] K.-J. Yoon, and I.-S. Kweon, “Locally adaptive support-weight approach for visual correspondence search”. In *Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 924–931, 2005.
- [11] B. Cyganek, “Matching of the multi-channel images with improved nonparametric transformations and weighted binary distance measures”, *IWCIA’06 Proceedings of the 11th international conference on Combinatorial Image Analysis*, Pages 74-88, 2006.
- [12] K.-J. Yoon, and I.-S. Kweon, “Locally adaptive support-weight approach for visual correspondence search”. In *Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 924–931, 2005.
- [13] <http://www.cvlibs.net/datasets/kitti/index.php>, “The KITTI Vision Benchmark Suite”.

Acerca del autor o autores

Salvador Ibarra Delgado es Ingeniero en Sistemas Electrónicos, egresado del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey en 1986. Obtuvo el grado de Maestro en Informática y Tecnologías Computacionales por parte de la Universidad Autónoma de Aguascalientes en el año 2006. Actualmente se encuentra estudiando el Doctorado en Ingeniería con especialidad en Arquitectura de Computadoras en la Universidad de Córdoba, España. Trabaja actualmente en la Universidad Autónoma de Zacatecas. Sus áreas de interés: Dispositivos Lógicos Programables, Arquitectura de Computadoras, Visión por Computadora.

Uso del campo magnético de la tierra para localizar a las personas en interiores

Carlos Eric Galván-Tejada, Juan Pablo García-Vázquez, Jorge Issac Galván-Tejada

Use of the earth magnetic field for indoor location estimation

Recibido: julio 30, 2013
Aceptado: agosto 21, 2013

Palabras clave: Campo Magnético; Localización en Interiores; Dispositivos Móviles.

Abstract:

The location of an individual is a fundamental element of information for some commercial and assistive location-based applications. Since the global positioning system, the most effective technology for positioning a mobile object in the outdoors does not work in indoor environments, several technological approaches have been proposed to tackle this problem. In this direction, in this paper we present an interesting approach based on the use of earth magnetic-field variations to estimate the localization of an individual in indoor environments.

Keywords: Magnetic-Field; Indoor Location; Mobile Devices.

EN los últimos años la capacidad de localizar a un individuo en interiores se ha convertido en un elemento esencial para algunos sistemas comerciales (p. ej. sistemas de anuncios, redes sociales, entre otros), así como, para aplicaciones que tienen por objetivo asistir a un individuo con sus actividades de vida diaria (p. ej., sistemas de notificación). Aunque en la actualidad se cuenta con tecnologías que son efectivas para localizar a un individuo, como es el caso del sistema de posicionamiento global (GPS, Global Positioning System), el cual permite determinar la posición de un objeto móvil en ambientes de exteriores, este no tiene la misma efectividad en espacios de interiores (p. ej., un edificio, supermercado, entre otros), ya que el sistema de posicionamiento global requiere tener “a la vista” al menos 3 satélites, lo cual en interiores es casi imposible, debido a que la infraestructura de los espacios de interiores impiden la vista directa entre el objeto móvil y los satélites que son utilizados para estimar su posición; y aunque lo fuera, 3 satélites ofrecerían una precisión “pobre” y probablemente con errores mayores a los 100 metros, lo cual proporcionaría información poco útil para las aplicaciones basadas en la localización de un individuo. Para abordar el problema de GPS, la industria y la academia han propuesto diversos enfoques tecnológicos para estimar la localización de un individuo en interiores. La mayoría de estos enfoques se basa en la radio-localización y trabajan bajo los principios de funcionamiento de GPS, con la dife-

rencia de que en estos sistemas se cambian los satélites por tecnologías que comúnmente se encuentran distribuidas en espacios de interiores, por ejemplo, puntos de acceso para redes inalámbricas (Wi-Fi) o dispositivos Bluetooth. Enfoques recientes han considerado al dispositivo móvil como un elemento esencial para el desarrollo de los sistemas de localización para espacios de interiores debido a que estos permiten fácilmente recolectar datos ya que cuentan con una gran diversidad de sensores (p. ej. acelerómetro, magnetómetro, etc.) y dispositivos (p. ej. cámara, micrófono, Bluetooth y GPS, entre otros). En este sentido, en este artículo se presenta un enfoque de localización en interiores basado en las variaciones del campo magnético de la tierra y los dispositivos móviles.

EL CAMPO MAGNÉTICO DE LA TIERRA COMO MEDIO DE ORIENTACIÓN

Existen varios ejemplos de cómo la señal del campo magnético ha sido utilizada para fines de orientación. Por ejemplo, el pelícano y el lobo marino utilizan el campo magnético de la tierra para orientarse cuando se desplazan de un lugar a otro [1,2].

Uno de los primeros indicios del uso del campo magnético por parte de la humanidad se remonta a la invención de la brújula atribuida al pueblo Chino que si bien no da una localización si da la orientación que es útil para muchos aspectos de la vida actual. Las características más detalladas de esta señal fueron modeladas matemáticamente hace aproximadamente 2 siglos atrás por el geodesta Carl Friedrich Gauss[3].

El campo magnético de la tierra puede ser visto como un dipolo magnético descrito por dos polos opuestos, comúnmente referidos como el polo norte y el polo sur[4], como se ilustra en la Figura 1.

Diversos trabajos han identificado que el campo magnético posee dos características que pueden ser utilizadas para estimar la localización de una persona, tales como:

Cada pulgada cuadrada de la tierra tiene una lectura del campo magnético única. El campo magnético es invariante aun en periodos de tiempo largos.

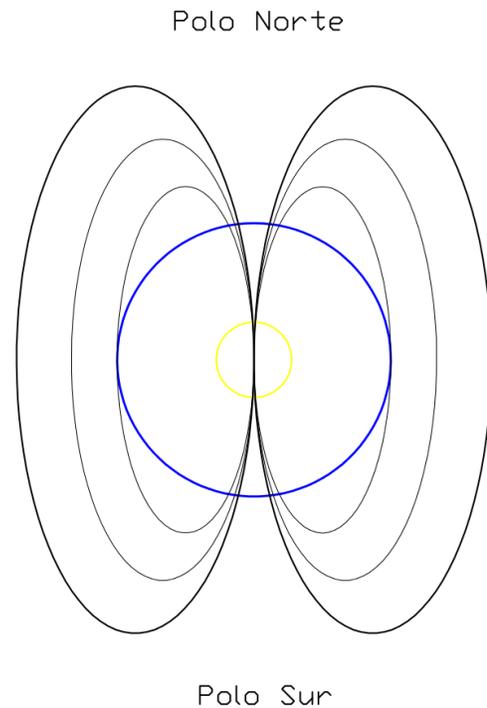


Figura 1. Ejemplo del campo magnético de la tierra, se cree que es generado por el líquido del núcleo de la tierra.

Por las características anteriores diversos trabajos han considerado al campo magnético como una señal del interés para estimar la localización de una persona[4,5].

LOCALIZACIÓN DE UN USUARIO EN UN ESPACIO DE INTERIORES UTILIZANDO EL CAMPO MAGNÉTICO

Para estimar la localización de un individuo en un espacio de interiores utilizando el campo magnético se emplea la técnica de localización llamada Huella Digital (fingerprint),

la cual consiste en dos fases: la pasiva y activa. En la fase pasiva se recolectan muestras de la intensidad del campo magnético en diversas zonas del espacio de interiores, con la finalidad de crear una base de información con la intensidad del campo magnético, la cual posteriormente será utilizada en la fase activa. La recolección de las muestras es a través de un magnetómetro, sensor que podemos encontrar en la mayoría de los teléfonos inteligentes (SmartPhones). Estos sensores entregan un vector de 3 componentes que permite calcular un valor único para cada pulgada cuadrada representado por la magnitud, calculada con la ecuación 1, donde M_x, M_y y M_z son los ejes que representan a x, y y z respectivamente.

$$|M| = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2} \quad (1)$$

. La fase activa consiste en determinar la localización de un sujeto u objeto móvil, para localizarlo éste debe llevar consigo un dispositivo móvil capaz de medir la intensidad del campo magnético de una zona y realizar la comparación de la intensidad medida con la información que se encuentra en la base de datos creada durante la fase pasiva, esto con la finalidad de estimar su localización.

SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN BASADOS EN EL CAMPO MAGNÉTICO DE LA TIERRA

Los sistemas de localización basados en el campo magnético de la tierra pueden ser agrupados principalmente en dos categorías, aquellos que requieren de una fase pasiva más extensa y detallada, refiriéndose a una recolección de información meticulosa dividiendo el área en superficies pequeñas de igual tamaño y obtener para cada una de esas pequeñas superficies su lectura del campo magnético, como lo podemos visualizar en la Figura 2.

Por otro lado, se tiene el enfoque siguiendo al líder (follow the leader), en el cual la fase pasiva es mucho más sencilla, ya que solamente consta de recolectar información dentro de la habitación generando un perímetro o recorrido predefinido que en la fase activa puede ser reconocido y así obtener la localización, enfoque representado en la Figura 3.

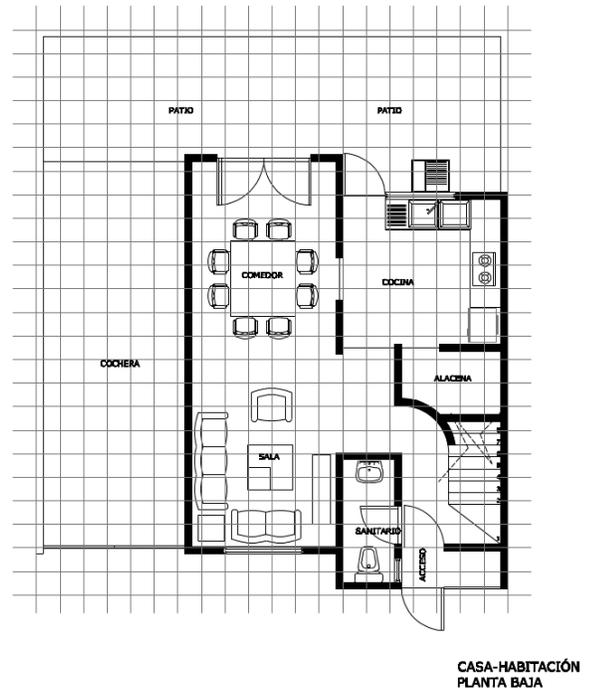


Figura 2. Ejemplo de división de una casa habitación para la recolección de información en la fase pasiva.

COMPARACIÓN ENTRE ENFOQUES

Ambos enfoques cuentan con ventajas y desventajas y posibles aplicaciones finales. Aquellos que requieren de una fase pasiva extensa por lo general son sistemas de localización que nos permiten obtener las coordenadas donde se encuentra el objeto con respecto a un origen absoluto o relativo y en 2 o 3 ejes dependiendo de la propuesta del sistema y no dependen de un perímetro ni un número mínimo de muestras que tengan que ser recolectadas en la fase activa para otorgar una posición, esencial para aplicaciones tales como abrir una puerta, encontrar a una persona, cerrar

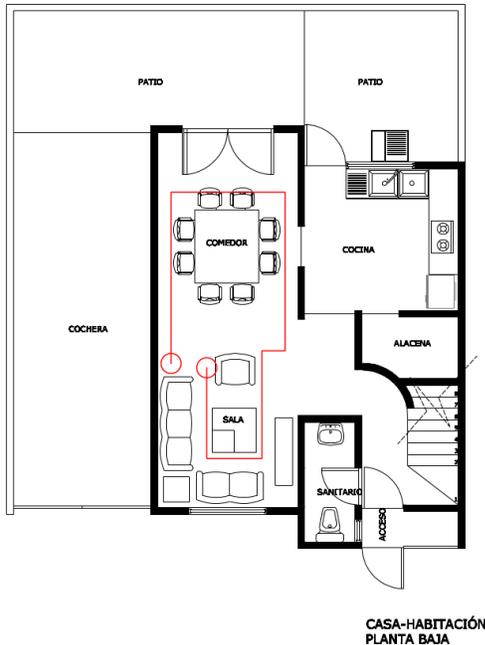


Figura 3. Ejemplo de perímetro requerido en el enfoque siguiendo al líder para reconocer una habitación.

una llave de agua, etc., pero su gran inconveniente es que el trabajo previo (fase pasiva) requerido es muy demandante y realizar una recolección de datos en un interior de gran tamaño, por ejemplo un centro comercial, requiere de una cantidad de información mayor, muchas horas de trabajo previo, etc. Aunado a esta desventaja tenemos que el mover algunos muebles, encender o apagar circuitos eléctricos o simplemente cambios ambientales pueden afectar las lecturas y por ende perder precisión dentro de la fase activa [3].

Por su parte, los sistemas basados en la técnica siguiendo al líder permiten conocer, en lo común, la habitación en la que se encuentra el objeto y la fase pasiva suele ser sencilla y rápida de realizar, ya que basta con caminar por la

habitación donde se aplicará el sistema de localización, hecho que le permite ser más robusto a las variaciones dado que no se depende de un único punto para obtener la localización. Esta información es suficiente para aplicaciones como lo es encender una luz de una habitación o conocer la habitación en la que se encuentra una persona por citar algunas, por otro lado, el tener un patrón que seguir para reconocer una habitación lo hace un modelo no apropiado para muchas aplicaciones y de menor cantidad de aplicaciones por el hecho de que es necesario seguir una ruta predefinida.

Propuestas recientes

Tomando en consideración las ventajas y desventajas de las dos técnicas básicas mencionadas anteriormente recientemente están surgiendo propuestas para aprovechar las ventajas de ambas técnicas y minimizar las desventajas de cada una de ellas. En el trabajo [5] se realiza una fase pasiva con el enfoque siguiendo al líder, pero en la fase activa se analizan los datos recolectados en el dominio de la frecuencia lo cual permite no depender de un patrón ni perímetro que tenga que ser seguido para reconocer la habitación en la que se encuentra, demostrando tener el atributo de la velocidad en la fase pasiva del enfoque siguiendo al líder y la capacidad de no depender de un patrón predefinido de un enfoque meticuloso.

Solución propuesta

Conociendo las propuestas recientes para solventar los problemas de los sistemas de localización basados en el campo magnético de la tierra se propone el aprovechar el resto de los sensores incluidos en el SmartPhone y complementar la señal del campo magnético. Por ejemplo el uso del acelerómetro y el sensor de orientación permiten calcular una posición con respecto a un origen relativo similar a la técnica de odometría. Por otro lado existen trabajos que realizan localización basado en la cantidad de lúmenes que pueden ser medidos en una habitación, bajo la premisa de que cada habitación tendrá una iluminación diferente. Estos ejemplos anteriormente mencionados pueden ser considerados como fuentes de infor-

mación alternas que pueden ser fusionadas con la localización basada en el campo magnético de la tierra mediante algoritmos de predicción/clasificación como lo es el filtrado de partículas con la finalidad de subsanar las carencias que tienen los modelos actuales de localización con el campo magnético.

CONCLUSIONES

La señal del campo magnético ha sido utilizada para estimar la localización de un individuo en espacio de interiores debido a sus características de unicidad e invariabilidad en el tiempo y el espacio. El uso de esta señal permite desarrollar sistemas de localización para interiores que no requieren una infraestructura dedicada para su funcionamiento, lo que se traduce, en el desarrollo de sistemas de bajo costo de implementación y mantenimiento.

Sin embargo, debido a las características de variabilidad del campo magnético provocado por los cambios en espacio de interiores, es un nicho de oportunidad para la investigación.

Bibliografía

- [1] Larry C Boles and Kenneth J Lohmann. “True navigation and magnetic maps in spiny lobsters”. *Nature*, 421(6918):60–63, 2003.
- [2] Henrik Mouritsen, Gesa Feenders, Miriam Liedvogel, and Wiebke Kropp. “Migratory birds use head scans to detect the direction of the earth’s magnetic field”. *Current Biology*, 14(21):1946–1949, 2004.
- [3] Binghao Li, Thomas Gallagher, Andrew G Dempster, and Chris Rizos. “How feasible is the use of magnetic field alone for indoor positioning?” In *Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, 2012 International Conference on, pages 1–9. IEEE, 2012.
- [4] William Storms, Jeremiah Shockley, and John Raquet. “Magnetic field navigation in an indoor environment”. In *Ubiquitous Positioning Indoor Navigation and Location Based Service (UPINLBS)*, 2010, pages 1–10. IEEE, 2010.

- [5] Carlos E Galván-Tejada, José C Carrasco- Jimenez, and Ramon Brena. “Location identification using a magnetic-field-based fft signature”. *Procedia Computer Science*, 19:533–539, 2013.

Acerca del autor o autores

Galván-Tejada Carlos E. Recibió el título de Ingeniero en Computación y el grado de Maestro en Ingeniería por la Universidad Autónoma de Zacatecas. Actualmente está trabajando para obtener el grado de Doctor en Tecnologías de la Información y Comunicaciones en el Tecnológico de Monterrey campus Monterrey. Sus intereses de investigación incluyen Ambient Intelligence, Signal Processing, Contextual Research y Context-Aware Computing. ericgalvan@uaz.edu.mx

García-Vázquez Juan P. Obtuvo su título de ingeniero en Computación, grado de Maestría en Electrónica y su Doctorado en Ciencias Computacionales en la Universidad Autónoma de Baja California. Sus intereses principales de investigación son Human-Computer Interaction (HCI), Ubiquitous Computing (UbiComp) y Ambient Intelligence (AmI). jpablo.garcia@itesm.mx

Galván-Tejada Jorge I. Obtuvo su grado de ingeniería en Comunicaciones y Electrónica y su grado de Maestría en Ingeniería de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Actualmente cursa su Doctorado en Tecnologías de la Información y Comunicaciones en el Tecnológico de Monterrey campus Monterrey. Sus áreas de interés incluyen Signal Processing, Intelligent Systems, Bioinformatics e Image Processing. a00810378@itesm.mx

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 difucencia) 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: Divuligation, Research, and Tutorials.

Divuligation: 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 (divuligation), 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.

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.



UNIVERSIDAD

AUTONOMIA

DE ZACATECAS

FRANCISCO

GARCÍA

SALINAS