

RISCE Revista Internacional de Sistemas Computacionales y Electrónicos

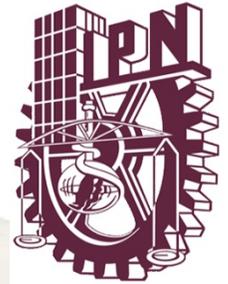
Mayo 2011

Número 3, Volumen 3, Año 3



75
Años

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
1936-2011



RISCE Revista Internacional de Sistemas Computacionales y Electrónicos; es una publicación bimestral del Instituto Politécnico Nacional, Av. Luis Enrique Erro S/N, unidad “Profesional Adolfo López Mateos”, Del. Gustavo A. Madero, C.P. 07738, México D.F. a través de la Escuela Superior de Computo; Av. Juan de Dios Bátiz S/N esquina Miguel Othón de Mendizábal. “Unidad Profesional Adolfo López Mateos”. Col. Lindavista C.P. 07738, México, D. F. tel. 57296000 ext. 52000. Certificado de reserva de Derechos al uso Exclusivo del título No. 04-2008-062613190500-203, ISSN en trámite. Los artículos son responsabilidad exclusiva del autor y no reflejan necesariamente el criterio de la institución, a menos que se especifique lo contrario. Se autoriza la reproducción total o parcial, siempre y cuando se cite explícitamente la fuente.

La revista se especializa en el área de los sistemas computacionales y electrónicos; tanto en el desarrollo, como en la investigación en:

Ciencias de la Computación

Cómputo educativo

Cómputo Móvil

Comunicaciones

Disciplinas Emergentes

Electrónica

Física Electrónica

Ingeniería de Cómputo

Ingeniería de Software

Innovación Tecnológica

Inteligencia artificial

Matemática computacional

Procesamiento de señales

Robótica y cibernética

Sistemas de Información

Tecnologías de la Información

Distribución

La revista cuenta con 300 ejemplares que se distribuyen en:

Europa, Asia y América Hispana; mediante CD ROM y correo electrónico

Directorio



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

DRA. YOLOXÓCHITL BUSTAMANTE DÍEZ
DIRECTORA GENERAL

ING. JUAN MANUEL CANTÚ ALVAREZ
SECRETARIO GENERAL

DR. EFREN PARADA ARIAS
SECRETARIO ACADEMICO

DR. JAIME ALVAREZ GALLEGOS
SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ING. ERNESTO MERCADO ESCUTIA
SECRETARIO DE SERVICIOS EDUCATIVOS

ING. OSCAR JORGE SÚCHIL VILLEGAS
SECRETARIO DE EXTENSIÓN E INTEGRACION SOCIAL

M. EN C. FERNANDO ARELLANO CALDERON
SECRETARIO DE GESTION ESTRATEGICA

C.P. ROBERTO ALVAREZ ARGUELLES
SECRETARIO DE ADMINISTRACION

LIC. JUDITH CLAUDIA RODRIGUEZ ZUÑIGA
DEFENSORA DE DERECHOS POLITECNICOS



ESCUELA SUPERIOR DE CÓMPUTO

ING. APOLINAR FRANCISCO CRUZ LÁZARO
DIRECTOR

DR. FLAVIO ARTURO SÁNCHEZ GARFIAS
SUBDIRECTOR ACADÉMICO

DR. JESÚS YALJÁ MONTIEL PÉREZ
JEFE DE LA SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

LIC. ARACELI LOYOLA ESPINOSA
SUBDIRECTORA DE SERVICIOS EDUCATIVOS E INTEGRACIÓN SOCIAL

M. EN C. JUAN VERA ROMERO
SUBDIRECTOR ADMINISTRATIVO

DR. EDUARDO BUSTOS FARIAS
EDITOR DE RISCE

Miembros del comité Revisor

(Todo el comité técnico está formado por doctores en ciencias o su equivalente)

Francisca Losavio de Ordaz (Venezuela) (Universidad Central de Venezuela)

Alfredo Matteo (Venezuela) (Universidad Central de Venezuela)

Emmanuel F. Moya Anica (México)

Edgardo Manuel Felipe Riverón (Cuba) (México) (CIC)

Luis Enrique Palafox Maestre (México)

Eduardo F. Caicedo Bravo (Colombia)

Hilda Ángela Larrondo (Argentina)

Guillermo Leopoldo Kemper Vásquez (Perú)

Elizabeth León Guzmán (Colombia)

María Cecilia Rivera (Chile)

Satu Elisa Schaeffer (Finlandia) (UANL)

Rafael Canetti (Uruguay)

Javier Echaiz (Argentina)

Pablo Belzarena (Uruguay)

Carlos Beltrán González (Italia) (Università di Genova)

Elena Fabiola Ruiz Ledesma (México)

Jonatan Gómez (Colombia)

Armando De Giusti (Argentina)

Juan José Torres Manríquez (México)

Jesús Yaljá Montiel Pérez (México)

Luis Alfonso Villa Vargas (México)

Marco Antonio Ramírez Salinas (México)

Félix Moreno González (España) (UPM)

Salvador Godoy Calderón (México) (CIC)

José Luis López-Bonilla (México) (IPN ESIME ZAC)

Lorena Chavarría Báez (México)

Miguel Santiago Suárez Castañón (México)

INDICE

Classifier system of solder joints in printed circuit boards using coupled filters and hypothesis tests for automated visual inspection.....	6
Realce de la imagen mediante técnicas de transformación y ajuste de curvas para la detección de grietas en la cinta asfáltica.....	12
Iris Segmentation from Video.....	18
Real-Time Counting of moving objects in H.264 video flow.....	23
Una metodología integral para el modelado cinemático de manipuladores móviles con ruedas	27
Enseñanza del Cálculo con apoyo de la tecnología	33
Instrucciones para los autores	39

Classifier system of solder joints in printed circuit boards using coupled filters and hypothesis tests for automated visual inspection.

Eduardo Velázquez Mora¹, Jorge Hernández Constante²

^{1,2} Departamento de Electrónica, Universidad de Guadalajara Campus CUCEI, Guadalajara, Jalisco, México.
Phone (33) 13785900 Fax (33) 13785900 E-mail: eduardo.velazquez@red.cucei.udg.mx

Abstract — Through this paper is shown the development and test of a system of classification for automated visual inspection (AVI) for solder joints in printed circuit boards using coupled filters and hypothesis tests. An array of LEDs is used to light solder junctions, and then images are taken in order extract those regions of interest (ROI). These regions are compared against coupled filters made of different reference images of solder joints which are considered acceptable according to inspection criteria, and is obtained the mean and standard deviation of the maximum peak-to-correlation energy (PCE) of them. Other statistic data are obtained previously and only from the reference images once for serve as a reference for the classifier system. The classification is done by contrasting the statistical data of the sample against the reference in hypothesis tests, and then setting the sample as "pass" or "fail". Experiments have shown good results.

Keywords — classifier system for AVI, solder joints, hypothesis test

I. INTRODUCTION

The production processes are unable to produce industrial parts with perfect shapes. Visual inspection verifies the accuracy of a manufactured part according to specifications or criteria set.

In the case of solder joints on Printed Circuit Board Assembly (PCBA), different parameters in them cause different forms of solder joints that are not identical, but may be rejected or not. The quality of a single solder joint often defines the grade of the whole product. Therefore, an inspection of the solder junction is required in order to guarantee an accurate quality.

The development of the Surface Mount Technology (SMT) in order to accelerate the production of PCBA within the electronics manufacturing industry has been generating new needs for visual inspection. The task of finding defects in a PCBA visually becomes more difficult and less reliable by human inspectors due to interrelated factors causing the application of acceptance criteria based on quality control standards are not equal in each of them. These factors are the miniaturization of components and the density of them inside the card has increased, so the repeatability over time causes fatigue in the human inspector [1].

To overcome these difficulties, the Automatic Optical Inspection (AOI) equipment was created with lights and cameras to acquire images of the PCBA and use algorithms

to find defects in repetitive inspection tasks with accuracy and reliability.

These AOI systems generally include the following blocks as shown in figure 1:

- i) A bank of patterns for recognizing objects is generated.
- ii) The acquisition of the image under test is performed.
- iii) The characteristics that help identify, classify and locate the region of interest are extracted. The characteristics analyzed by the system depend on the characteristics of the object, the imaging system and algorithms that are used.
- iv) The objects are classified according to quality standards. We analyze whether each of the objects identified meets the quality criteria established by the enterprise for a given end product.

Although AOI is used before and after the PCBA components are soldered, it is recommended use it after the soldering process since Krippner and Beer [2] show that 90% of faults are detected at that point. Common solder joint defects which are of concern include: no solder, opens, shorts, and bridges.

The acceptance criteria used for visual inspection in the manufacturing of electronic assemblies are defined by the standard IPC-A-610 issued by Association Connecting Electronics Industries, formerly the Institute of Printed Circuits (IPC). The document is a compilation of images of components, connectors and solders joints of PCBA with the desired minimum acceptable conditions for each type of assembly manufacturing regardless of the method used. A brief description follows each image. This standard is intended to help quality inspectors to determine whether a component assembly is accepted or not.[3]

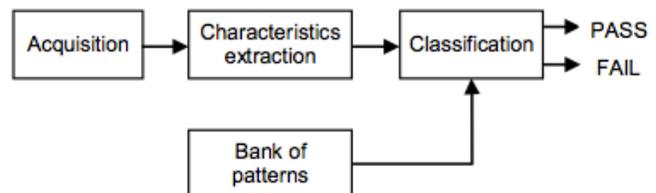


Fig. 1. General block diagram for automated visual inspection.

There are many techniques for quality automatically classifies the solder joints. Timm, Klement, Martinetz, and Barth show there are two groups of techniques: the first uses hardware, such as camera and lighting system to extract relevant features; the second, with default hardware, uses a method (software) to recognize patterns [4]. The ways to recognize and classify patterns are based on correlation filters and Neural Networks.

Neural Networks have shown very good results for detecting a certain pattern in a given image. But the problem with neural networks, as stated El-Bakry and Zhao, is that the computational complexity is very high and many investigations tried to speed up the detection process [5].

Since the development and introduction of Classic Matched Filter (CMF), introduced by VanderLugt in 1964 [6], have proposed various correlation filters optimized for better performance in certain areas of optical pattern recognition and correlation methods either optical, digital and hybrids.

Normalized Cross Correlation (NCC) has been commonly used as a metric to evaluate the degree of similarity (or dissimilarity) between two compared images with a simple template-matching method. A relative efficient method way of calculating the NCC is using the Fast Fourier Transform (FFT) [7]. Essentially, digital correlation system can use linear coupled filters, in addition to performance metrics peak-to-correlation energy (PCE). In this paper we apply this method in a digital system.

Good classification performance requires selection of effective classifier. This classifier system has been developed based in a statistical hypothesis test model.

A statistical hypothesis test is a statistical inference methodology for assessing whether a property fulfills a statistical population is consistent with that observed in a sample of that population.

In this paper a classifier system for solder joints in printed circuit boards is presented. This classifier system uses a statistical method that compares the mean and standard deviations of PCE of two groups obtained through a coupled filter. The developed approach does not need an advanced X-Y positioning system and the images of the board are acquired by an ordinary CCD camera. Just a circular illumination system to light the area is used.

This paper is organized as follows: in Section II, the methodology is described. In this section, the feature extraction stage and the classification stage are presented. Section III shows the experimental results obtained by applying the proposed method to a data set of PCB images. Finally, the conclusions are made at the end of this paper.

II. METHODOLOGY

The experimental setup consists of three stages according to the functional blocks of an AOI: image acquisition, analysis of image under test and classification, as shown in Figure 1. Each steps is shown in Fig. 2.

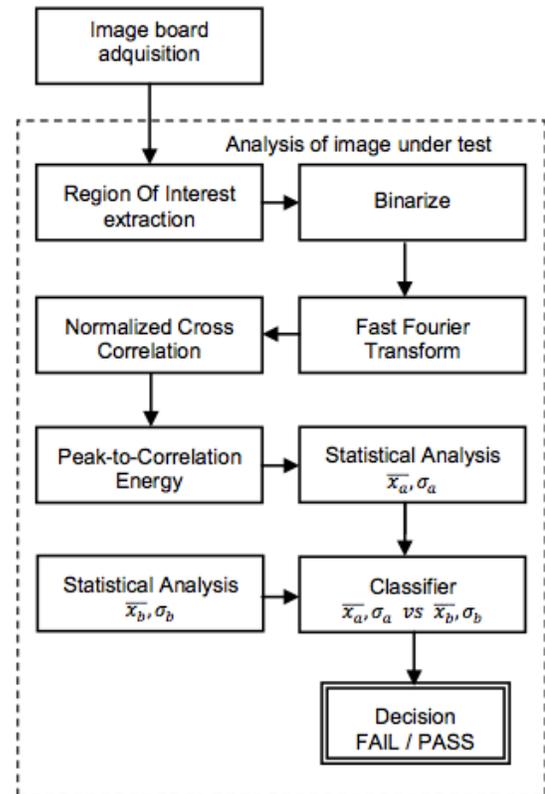


Fig. 2. Automated inspection procedure.

In the acquisition stage, the image is captured by a CCD camera. Before this steps, a bank of pattern of images that are accepted according to specifications or criteria set are taken. The digital image under test is then used in the second stage, where ROI is extracted, binarized and FFT and NCC is applied to compare it against each image of the bank. Then each PCE is extracted in order to get mean and standard deviation.

The classification is carried out in the third stage. A comparison of statistical data for image under test and bank of patterns using hypothesis tests is performed in order to take a decision and classify it.

Images used in bank of patterns are a collection of images of the solder joint that meet the requirements of acceptance criteria. The number of images may be as many as the types of images which can meet the minimum requirements to the type of images considered as excellent. However, it is recommended the most significant cases of this variety in order to have a solid bank.

A. Image Acquisition

The experiments used a CCD camera with 320 pixels × 240 pixels sensor and lens focal length of 38 mm. that acquires the image of the PCB under test in grayscale and by a personal computer that does the image processing and the final classification.

Since the specularly of the solder joint surface causes difficulties in the automated extraction of relevant information, an appropriate feature extraction is required in order to achieve an accurate performance. Fig.3 shows a circular illumination system lighting a specular surface by which prevents ideal smooth shading that matches its shape for the effective classification of solder joints.

B. Image under Test Analysis

In this stage, a grayscale image was taken already. Then the ROI is obtained thru a cropping process using the coordinates that cover the subimage area of the solder joint under test. Following the method, a binary image, is obtained from ROI image in grayscale by non linear transformation. The binarized image has two pixels values: 0 or 255 following next expression [8]

$$S(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } i(x, y) \leq T \\ 0 & \text{in other case} \end{cases} \quad (1)$$

where T is a threshold value and $S(x, y)$ represent binarized image. Pixels with values below the threshold T are equal to 0 representing color black; otherwise, pixels over the threshold value are equal to 255 which corresponds to color white.

The system used in this work is based on a nonlinear process, which makes correlations between the image under test and different reference images.

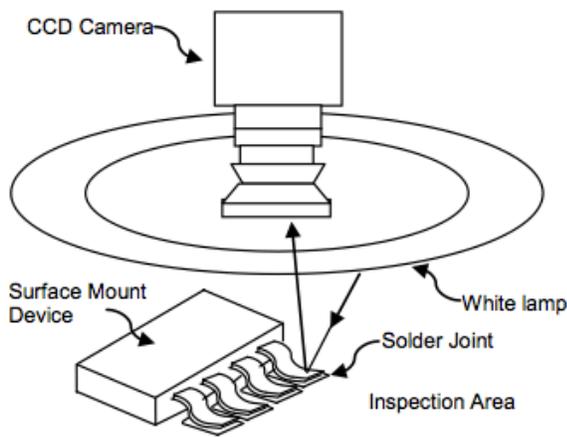


Fig. 3. Circular illumination system and CCD camera

A nonlinear correlation filter denoted by NLF is expressed like [9]

$$NLF = |F(u, v)|^k e^{-j\varphi(u, v)} \quad 0 < k < 1 \quad (2)$$

Where, $|F(u, v)|$ is the absolute value of the Fourier transform of the object to be recognized, $j = \sqrt{-1}$, k is the nonlinearity strength factor with values from 0 to 1 and $\varphi(u, v)$ is the phase of the Fourier transform. Changing k value to 1, a Classic Matched Filter (CMF) is obtained; to 0, a Phase Only Filter (POF); to -1, an Inverse Filter (IF) is obtained [10]. When nonlinearity strength k factor modifies the Fourier Transform of image under test and reference test, a non linear process is considered.

The NCC is a simple template-matching method that determines the location of a desired pattern represented by a template function, inside a two dimensional image function. The following formula for NCC, is [11]:

$$c(u, v) = \frac{\sum_{x, y} [f(x, y) - \bar{f}_{u, v}] [t(x - u, y - v) - \bar{t}]}{\sqrt{\{\sum_{x, y} [f(x, y) - \bar{f}_{u, v}]^2 [t(x - u, y - v) - \bar{t}]^2\}}} \quad (3)$$

where \bar{t} is the mean of the template and $\bar{f}_{u, v}$ is the mean of $f(x, y)$ in the region under the template.

The main advantage of the normalized cross correlation over the simple cross correlation is that it is less sensitive to linear changes in the amplitude of illumination in the two compared images [12].

The peak-to-correlation energy PCE performance metric is defined as [13]

$$PCE = \frac{|E\{c(0, 0)\}|^2}{E\{|c(x, y)|^2\}} \quad (4)$$

where the numerator is the peak correlation intensity expected value and the denominator is the mean energy expected value in the correlation plane. This metric is used when there is no noise in images, as in our case.

In order to get the maximum PCE, it's required find the best k value.

Since FFT of image under test is made, FFT image information is compared against each image of the pattern bank using NCC and then each PCE is extracted. The number n of comparisons is the number of images of bank.

In this comparison process, a set θ of PCE is generated as:

$$\theta = \{PCE_{a0}, \dots, PCE_{an}\} \quad (5)$$

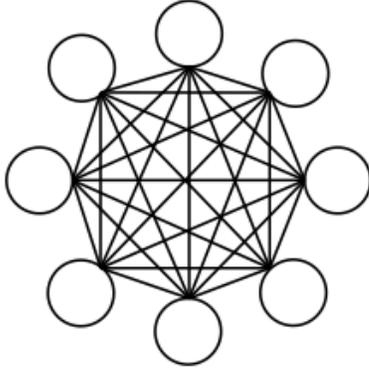


Fig. 4. Example of images from the bank of patterns that are being compared against others without recurrence.

With same steps in this stage, using only each image of pattern bank, every ROI is extracted, then binarized and FFT is applied. NCC is used to compare each image against each image of the bank following scheme of Fig. 4. The number of comparison m , with no recurrence among each other, is calculated by

$$m = \frac{[(n-1) n]}{2} \quad (6)$$

where m is the number of images in the pattern bank. For this process, a set φ of PCE is generated as:

$$\varphi = \{PCE_{b0}, \dots, PCE_{bm}\} \quad (7)$$

expressions in each set in general terms are:

$$\bar{x}_{PCE} = \frac{\sum_{i=0}^N PCE_i}{N} \quad (8)$$

$$\sigma_{PCE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^N (x_i - \mu)^2}{N}} \quad (9)$$

where N is the number of elements in each set of PCE .

C. Classifier System

The goal of pattern classification is to assign input patterns by the selected features into decision regions that indicate to which belongs. In this case, classifier indicate whether image under test “passes” or “fails” under the assumption if image under test is similar to images in pattern bank with some confidence. Let formula 7 to describe a general classifier system:

$$\gamma = \begin{cases} \text{Pass} & \text{if image is similar to bank images} \\ \text{Fail} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

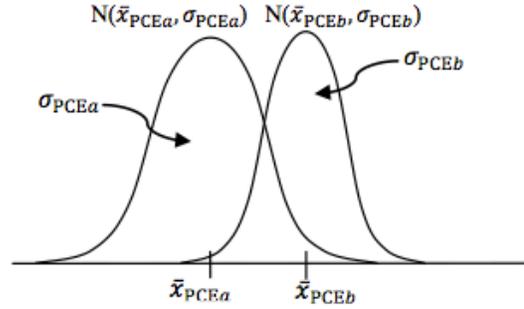


Fig. 5. Two population with normal distribution from θ and φ respectively.

where γ is the classifier system decision response. In this way, the classifier is trained by every image of pattern bank which they are images considered acceptable according to inspection criteria.

For the developed classification system, the assumption is “ θ is similar to φ ” in statistical terms is used as a discrimination rule. Another way of stating the above, is to write a hypothesis as follows:

$$H: N(\bar{x}_{PCEa}, \sigma_{PCEa}) \text{ is similar to } N(\bar{x}_{PCEb}, \sigma_{PCEb}) \quad (11)$$

where $N(\bar{x}_{PCEa}, \sigma_{PCEa})$ and $N(\bar{x}_{PCEb}, \sigma_{PCEb})$ are two dependent population with normal distribution from θ and φ respectively. Fig. 5 illustrates it.

A statistical hypothesis test is a statistical inference their statistic’s value.

The t-distribution is especially useful for testing the statistical significance of sample means and sample variances. Perhaps the most widely-used application of the t-distribution is to test whether or not two samples come from a distribution with the same mean. [14]. According to Gutierrez and De la Vara, the test statistic for the hypothesis of equality of means for two populations is given by [15]:

$$t_0 = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\frac{s_x^2}{n_x} + \frac{s_y^2}{n_y}}} \quad (12)$$

where \bar{X} , s_x^2 and n_x are mean, variance and number of elements of a population; while \bar{Y} , s_y^2 and n_y are same statistical from the other population. But, in the classifier system, in terms of (11) is

$$t_0 = \frac{\bar{x}_{PCEa} - \bar{x}_{PCEb}}{\sqrt{\frac{\sigma_{PCEa}^2}{n} + \frac{\sigma_{PCEb}^2}{m}}} \quad (13)$$

In this way with the assumption “ θ is similar to φ ” as a null hypothesis H_0 and alternative hypothesis H_A are

$$H_0: \bar{x}_{PCEa} = \bar{x}_{PCEb} \quad (14)$$

$$H_A: \bar{x}_{PCEa} \neq \bar{x}_{PCEb} \quad (15)$$

leads the following classifier system decision expression:

$$\gamma = \begin{cases} Pass & \text{if } \bar{x}_{PCEa} = \bar{x}_{PCEb} \\ Fail & \text{otherwise} \end{cases} \quad (16)$$

In terms of t_0 , using a confidence level α and $n+m-2$ degrees of freedom (16) can be rewritten as:

$$\gamma = \begin{cases} Pass & \text{if } |t_0| \leq t_{\frac{\alpha'}{2}} \\ Fail & \text{otherwise} \end{cases} \quad (16)$$

since H_0 can be rejected if $|t_0| > t_{\frac{\alpha'}{2}}$ [14].

III. RESULTS AND DISCUSSION

An experiment was designed to evaluate the performance of the coupled filter and the classifier system in order to be used in automatic visual inspection of solder joints in PCBA and determine whether they accepted or defective.

The case is analyzed to determine defective solder joints PTH (Pin Hole Trough). The original images are a bidimensional function in the form $f(x,y)$, different to zero and finite with a size of 320 pixels \times 240 pixels. they correspond to solder joints of a multiple terminal connector in line.

Some images of not acceptable (Fig. 6 A, B and C) and acceptable (Fig. 6 D and E) solder joints were used in the experiment. Fig. 6A shows is a solder joint with solder excess, Fig.6B is a solder joint with insufficient solder, Fig.6C is a solder joint with irregular solder distribution. Fig. 6D and 6E are images of accepted solder joints.

In a numerical experiment with images in the pattern bank, we found the best value of the intensity factor k for the coupled filter. The result for the maximum value of k is $k = 1$, this value corresponds to a linear filter. Values of the PCE vs. k are plotted in Fig. 9.

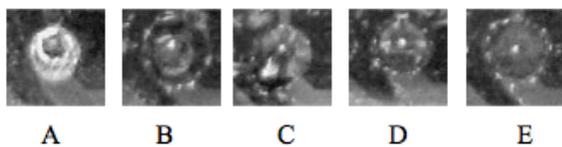


Fig. 6. Sample images of solder joints.

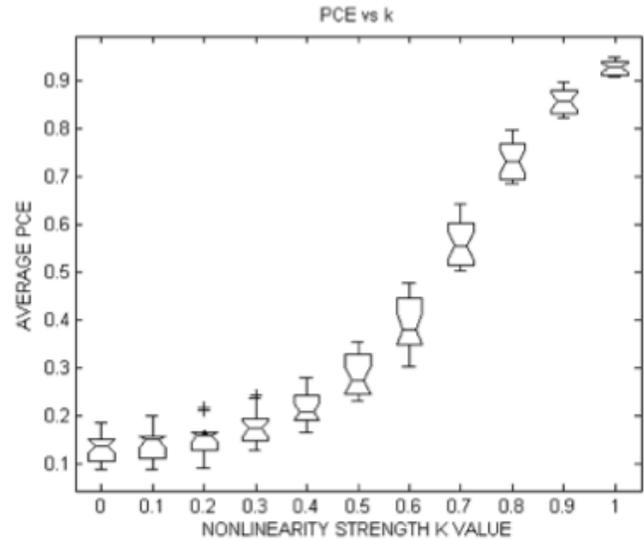


Fig. 7. Box plot of values of the PCE vs. k used to obtain the best value of the factor k .

Using five images of patter bank, from (6), $m=10$, $n=5$ and working with a confidence level $\alpha = 0.05$ and 13 degrees of freedom, $t_{\frac{\alpha'}{2}} = 2.1603$.

Five sampled images from different solder joints of PCBA (Fig.6) were tested and classified under, and using this developed inspection procedure with above $t_{\frac{\alpha'}{2}}$, every PCE and t_0 was obtained in order to know classifier system response.

Fig. 10 are shown box and whisker plots to compare PCEs from sampled images. First box and whisker plot is done from images of pattern bank and the consecutive images are from Figure 6 following that order. Box and whisker 2,3 and 4 are Fig.6 A, B and C, so they are statically different to first box; they are not acceptable. The remaining cases are in Fig. 6 D and E, and are statistically equal to first box and whisker.

Meanwhile Table 1 shows data for the PCEs, their analysis and results of the classifier system. A, B, C fail, D and E pass the test from classifier system.

TABLE I.
ANALYSIS DATA AND CLASSIFIER SYSTEM RESPONSE.

Fig.6	A	B	C	D	E
PCE ₀	0.8062	0.8601	0.8504	1.000	0.9251
PCE ₁	0.8366	0.8801	0.8725	0.9075	0.9492
PCE ₂	0.8330	0.8939	0.8924	0.9309	0.9458
PCE ₃	0.7980	0.8769	0.8720	0.9100	0.9998
PCE ₄	0.8540	0.9008	0.8894	0.9251	0.9192
t ₀	-9.256	-5.5458	-6.1414	0.5047	1.3071
STATUS	FAIL	FAIL	FAIL	PASS	PASS

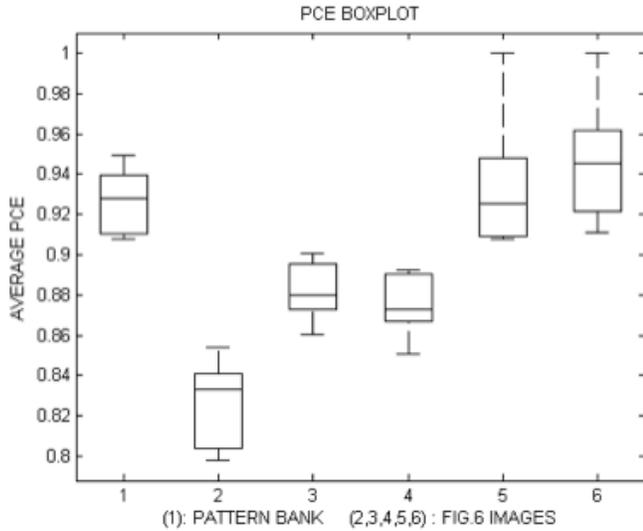


Fig. 10. Box plots to compare PCE sample images of Fig.6 against images of pattern bank.

IV. CONCLUSION

A classifier system of solder joints in printed circuit boards using coupled filters and hypothesis tests has been developed and tested. A lineal coupled filter is obtained since the factor $k=1$ shown maximum PCE for every sample. Solder Joints from PTH connector were used to acquire to sample and test images in the developed classifier system. With a confidence level $\alpha = 0.05$, the classifier discriminated acceptable and defective solder joints as was expected.

The classifier system has the capacity to discriminate solder joints of a PCBA connector in acceptable condition of those with defect from a statistical comparison of the PCE under a hypothesis test.

REFERENCES

- [1] D. Walsh, J. Arena, "Seeing AOI for Six-Sigma PCB Manufacturing", *Electronic Packaging & Production*, 2001.
- [2] P. Krippner, D. Beer, "AOI Testing Positions in Comparison", *Circuit Assembly*, 2004, pp. 26-32.
- [3] "IPC-A-610E-2010 Acceptability of Electronic Assemblies", *Association Connecting Electronics Industries IPC*, Bannockburn, Illinois, USA, 2010, pp. 1-2.
- [4] Fabian Timm, Sascha Klement, Thomas Martinetz, and Erhardt Barth. Welding Inspection Using Novel Specularity Features and a One-class SVM. *Proceedings of the International Conference on Imaging Theory and Applications*, Volume 1, pages 146-153, Lisboa, Portugal, 2009. INSTICC
- [5] H.M. El-Bakry, Q. Zhao, Fast normalized neural processors for pattern detection based on cross correlation implemented in the frequency domain, *Journal of Research and Practice in Information Technology* Vol. 38, No.2 pp. 151-170. May 2006
- [6] VanderLugt, A. "Signal detection by complex filters". *IEEE Trans. Inf. Theory Theory*, Vol. IT-10, pp. 139-145. 1964.
- [7] J. P. Lewis, "Fast Normalized Cross-Correlation," *Vision Interface*, pp. 120-123, 1995.

- [8] Sucar E., *Procesamiento de Imágenes y Visión Computacional*, Departamento de Computación, Tecnológico de Monterrey Campus Cuernavaca, México, 2005.
- [9] Vijaya Kumar B. V. K., Hassebrook L. Performance measures for correlation filters. *Applied Optics*, Vol. 29, Issue 20, pp. 2997-3006. 1990
- [10] R. E. Guerrero and J. Álvarez; "Análisis de filtros no lineales compuestos como opción para lograr invariación a escala, rotación y ruido", In LI Congreso Nacional SMF / XXI Reunion Anual AMO, Zacatecas, México, 2008
- [11] J. P. Lewis, "Fast Normalized Cross-Correlation," *Vision Interface*, pp. 120-123, 1995.
- [12] Tsai D.M., Lin C.T. Fast normalized cross correlation for defect detection. *Pattern Recognition Letters*, Volume 24, Issue 15, November 2003, pp. 2625-2631.
- [13] Javidi, B. and Horner, J. L., *Real-Time Optical Information Processing*, San Diego, 1994, Academic Press.
- [14] Voelz, Vincent A. (August 30, 2006) Hypothesis Testing. [Online]. Available: <http://www.stanford.edu/~vvoelz/links.html>
- [15] Gutierrez Pulido, H. and De la Vara Salazar, R. *Análisis y Diseño de Experimentos*. México, DF: McGraw Hill, 2004, ch. 2, pp 47-52.

Realce de la imagen mediante técnicas de transformación y ajuste de curvas para la detección de grietas en la cinta asfáltica.

Topic:

Signal Processing

Sandra Magaly Ramírez-Jiménez, Eduardo Castillo-Castañeda, Francisco Ornelas-Rodríguez

Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Querétaro
Cerro Blanco 141, Colinas del Cimatarío, 76090, Querétaro, México

Fax: 442 2290804

Tel: 442 2290804 ext. 81013, responsible for communications: Eduardo Castillo Castañeda.

e-mail: sagly_04@yahoo.com.mx

Resumen—Un indicador importante del estado de la carretera es la aparición de grietas en su superficie puesto que traen como consecuencia la discontinuidad de la misma, actualmente el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada Unidad Querétaro del Instituto Politécnico Nacional instrumenta un vehículo que debe circular a una velocidad de aproximadamente 80 kilómetros por hora y que entrega una secuencia de imágenes adquiridas con una cámara lineal “PIRANHA 2-4x-10” de alta definición y velocidad. Para obtener resultados cuantitativamente más precisos y aumentar la velocidad de inspección se requiere un método capaz de detectar grietas de la superficie de la cinta asfáltica de forma automática. En este trabajo se propone un método invariante a la iluminación para detectar grietas en la superficie de la cinta asfáltica. En la primera etapa del método se mejora la imagen por medio de la creación y extracción del patrón de iluminación de la misma. En la segunda etapa se calcula un umbral y se binariza la imagen por el método de Otsu. Finalmente se aplican operaciones morfológicas para extraer la grieta.

Palabras-clave; *realce de imagen; detección de grietas; inspección de carreteras*

Resumen—Un indicador importante del estado de la carretera es la aparición de grietas en su superficie puesto que traen como consecuencia la discontinuidad de la misma, actualmente el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada Unidad Querétaro del Instituto Politécnico Nacional instrumenta un vehículo que debe circular a una velocidad de aproximadamente 80 kilómetros por hora y que entrega una secuencia de imágenes adquiridas con una cámara lineal “PIRANHA 2-4x-10” de alta definición y velocidad. Para obtener resultados cuantitativamente más precisos y aumentar la velocidad de inspección se requiere un método capaz de detectar grietas de la superficie de la cinta asfáltica de forma automática. En este trabajo se propone un método invariante a la iluminación para detectar grietas en la superficie de la cinta asfáltica. En la primera etapa del método se mejora la imagen por medio de la creación y extracción del patrón de iluminación de la misma. En la segunda etapa se calcula un umbral y se binariza la imagen por el método de Otsu. Finalmente se aplican operaciones morfológicas para extraer la grieta.

Palabras-clave; *realce de imagen; detección de grietas; inspección de carreteras.*

I. INTRODUCCION

Las carreteras son un recurso de gran importancia para el bienestar social pues una red vial en mal estado se traduce en un aumento en los tiempos de traslado y una disminución en la comodidad y seguridad de los usuarios; asimismo los costos de operación aumentan cuando la cinta asfáltica sufre un deterioro mayor. Por lo tanto es necesario contar con los mejores medios para realizar un mantenimiento vial de manera oportuna.

Los sistemas de visión por computadora son muy utilizados para tareas de inspección debido a su alto nivel de flexibilidad y repetitividad. Sin embargo, las imágenes de carreteras adquiridas con estos sistemas tienen problemas de bajo contraste y alto nivel de ruido, debido a ello el realce de la imagen se ha convertido en una parte crítica del procesamiento puesto que los resultados finales dependen en gran medida de dicha etapa. Existen técnicas convencionales para el realce de la imagen como ecualización del histograma que aumenta el

contraste de la imagen pero también se tiene un aumento considerable del ruido.

En las últimas décadas se han propuesto diferentes métodos para la detección automática de grietas en las carreteras como son: los métodos basados en transformadas, los métodos basados en umbrales, la ecualización del histograma, entre otros. Con el afán de obtener mejores imágenes se ha trabajado también en el sistema de adquisición de imágenes, así en [1] utilizan una cámara infrarroja para capturar imágenes térmicas de la cinta asfáltica. En [2] utilizan un sistema de adquisición que consta de dos cámaras lineales en conjunto con dos proyectores láser de alta potencia como sistema de iluminación, estos arreglos permiten tener un sistema invariante ante las condiciones de iluminación del ambiente y las sombras con un aumento en el costo del sistema.

La transformada Wavelet es utilizada para el análisis local de señales no estacionarias y de rápida transitoriedad. Los coeficientes wavelet de larga amplitud pueden detectar variaciones cortas de alta frecuencia por su corta localización en el tiempo y alta frecuencia. En una imagen la máxima local indica la posición de bordes con fuertes variaciones de intensidad. En [3] y [4] se presentan métodos basados en la transformada wavelet para detectar las singularidades de la imagen que son los bordes importantes y el ruido, para separar el ruido y los bordes importantes se basan en el comportamiento en frecuencia de los mismos.

El método propuesto en el presente trabajo se basa en mejorar la distribución del histograma de la imagen y calcular la tendencia de los píxeles en cuanto a nivel de gris, se usa esta información para compensar la iluminación de la imagen, posteriormente se aplica la transformación Wavelet y una suma de imágenes para tratar de recuperar información que pudo perderse en la extracción del patrón de iluminación. En la última parte del documento se toma una imagen como ejemplo y se demuestra que la grieta se puede extraer de la imagen con una serie de operaciones morfológicas.

A. Imágenes Utilizadas

Las imágenes utilizadas son el resultado de la unión de 1000 imágenes adquiridas con una cámara lineal de alta resolución "PIRANHA 2-4x-10" de alta definición y velocidad, por lo tanto el tamaño de la imagen es 1000 x 4096 pixeles.

Las imágenes tomadas de la superficie de las carreteras tienen muchas variaciones en la intensidad de los pixeles y debido a esto la segmentación de la imagen es compleja. Es por esta razón que en la etapa de pre procesamiento debe considerarse un método que incremente el contraste entre la grieta y el fondo de la imagen además de corregir la iluminación.

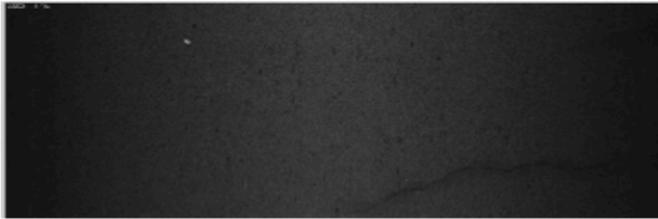


Figura 1. Imagen en escala de grises, utilizada para el desarrollo de un método propuesto.

Con el fin de enfatizar el efecto de la mala iluminación de la imagen, la figura 2 muestra la imagen binaria resultante de aplicar el método de Otsu [5] a la imagen original. En ella se observa parte de una grieta en el centro, mientras que en los extremos se pierden todos los detalles puesto que tienen niveles de gris más bajos que los del centro, lo cual hace imposible la detección de grietas ubicadas en la parte externa de la imagen.

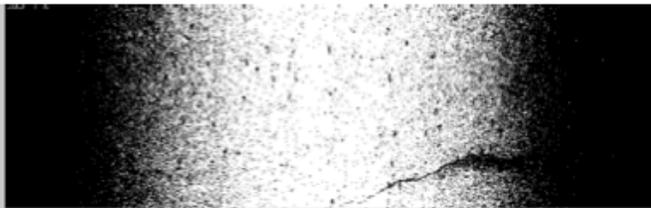


Figura 2. Imagen binaria, se aplicó el método de Otsu sobre la figura 1.

II. METODO PROPUESTO

A. Transformación Logarítmica

El proceso de realce es uno de los más importantes para obtener los resultados óptimos en los sistemas de visión, por tal motivo se estudiaron las características más comunes en las imágenes de grietas sobre carreteras, se pudo constatar tres características importantes.

- Los pixeles de la imagen tienen bajos niveles de gris.
- El histograma de la imagen está distribuido en un rango estrecho en la escala de niveles de gris.
- La iluminación de la imagen no es uniforme.

Debido a estas características el primer paso del método aplica una transformación logarítmica a la imagen con el fin de

ampliar el rango de nivel de gris y aclarar la misma. Una transformación logarítmica se define con la siguiente ecuación.

$$s = c \cdot \log(1+r). \quad (1)$$

Donde c es una constante, r es el valor del pixel de entrada y s el valor resultante de la transformación.

La siguiente figura muestra el efecto de la transformación logarítmica sobre la imagen original. El histograma de la izquierda representa la distribución de la intensidad de los pixeles de la imagen original, mientras que el histograma de la derecha muestra la distribución de la intensidad de los pixeles después de la transformación.

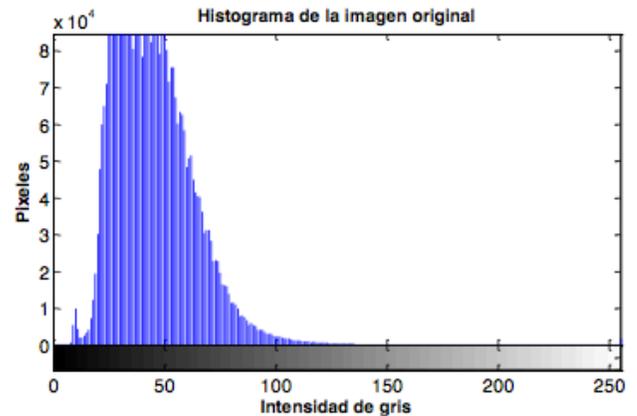


Figura 3. Histograma de la imagen antes de la transformación logarítmica.

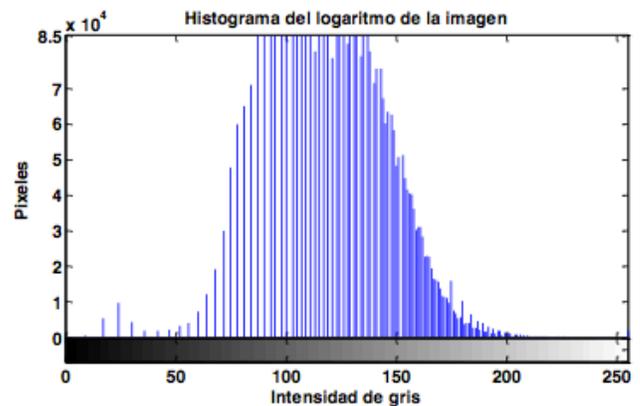


Figura 4. Histograma de la imagen después de la transformación logarítmica.

Con la transformación logarítmica se modificaron las dos primeras características de la imagen, el nivel de gris de los pixeles aumenta y el rango del histograma se expande.

B. Corrección de la Iluminación

Para corregir la iluminación se realizó una extracción del patrón de iluminación, tomando como base el nivel de intensidad de los pixeles de cada columna de la imagen.

Considerando la imagen como una matriz de $M \times N$, si realizamos el promedio de los elementos de cada columna el resultado es un vector V de $1 \times N$ que nos muestra la tendencia del nivel de intensidad de los pixeles de las columnas 1 hasta N . Graficando el vector V obtenemos una gráfica como la que se muestra en la figura 4.

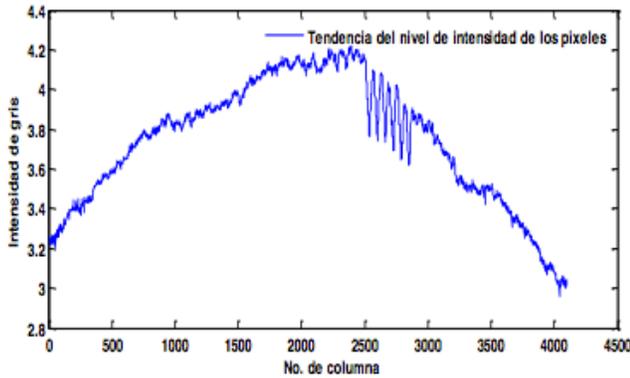


Figura 5. Tendencia del nivel de intensidad de las columnas de la imagen.

Para extraer el patrón de iluminación se busca una ecuación matemática que describa el conjunto de datos y que sea mínimamente influenciada por el ruido, por tal motivo se realizó un ajuste de curvas con los promedios obtenidos utilizando una función Gaussiana.

En la figura 5 se graficaron los puntos originales, curva en color verde, y la curva ajustada en color rojo. La curva ajustada representa solamente la tendencia en la iluminación de la imagen, mientras que los datos originales contienen además los detalles de la misma.

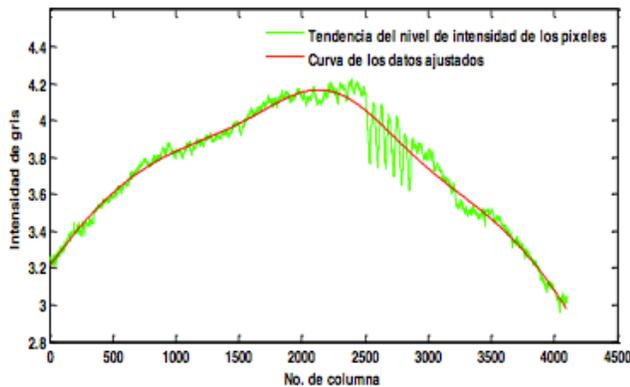


Figura 6. Datos ajustados con una función gaussiana.

Entonces, el patrón de iluminación se puede crear como una matriz de 1000×4096 donde cada renglón es formado por los elementos del vector $f(x)$, resultante del ajuste de curva.

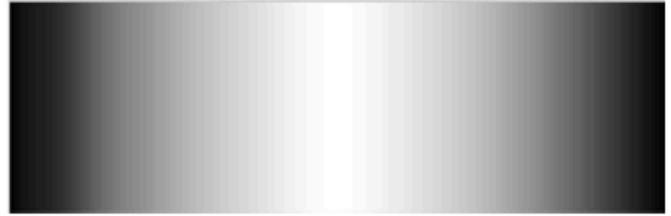


Figura 7. Patrón de iluminación de la imagen.

Como siguiente paso para corregir la iluminación se realizó una resta de imágenes, después la transformación logarítmica se restó el patrón de la figura 6, con lo que se obtuvo una imagen que muestra los detalles de la carretera como la textura, manchas y las grietas.

C. Transformada Wavelet por Partes

Una wavelet es una forma de onda de duración limitada y con un valor promedio cero y muchas veces no son simétricas, es muy utilizada para detectar irregularidades en una señal, como se ha descrito en algunos artículos la transformada wavelet descompone la imagen en una tendencia y diferentes detalles.

La Transformada Wavelet [6] de una función $f(t)$ es la descomposición de $f(t)$ en un conjunto de funciones $\psi_{s,\tau}(t)$ que forman una base ortonormal y son llamadas las "Wavelets". Esta transformada es eficiente para el análisis local de señales no estacionarias y de rápida transitoriedad.

Las wavelets tienen una norma unitaria y estrecha localización en tiempo y frecuencia y se construyen a partir de una wavelet madre de promedio cero:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t) dt = 0 \quad (2)$$

Ésta es dilatada por un parámetro de escala s y trasladado por u .

La transformada wavelet ortogonal multiresolución en dos dimensiones se calcula por proyecciones recursivas sobre las bases de la función de escala y las bases wavelet, como en el caso unidimensional. La proyección ortogonal de una imagen $f(x,y)$ sobre el conjunto de la función de escala en un nivel de resolución i es, por lo tanto, el producto interno

$$c_i(x,y) = \langle f(x,y), \phi_i(x)\phi_i(y) \rangle. \quad (3)$$

la cual es una aproximación de $f(x,y)$ en un nivel de menor resolución.

Se aplicó la transformación Wavelet una imagen con la iluminación corregida y se aplicó una serie de operaciones morfológicas con el fin de conservar solamente las partículas con área mayor a 10 pixeles.



Figura 8. Imagen binaria de la transformada Wavelet aplicada a una imagen con la iluminación corregida.

Se realizó la transformada wavelet por ventanas con el fin de minimizar la influencia de la textura y detalles ajenos a las grietas que se presentan en las imágenes. Posteriormente se realizó el mismo procedimiento que a la imagen anterior.

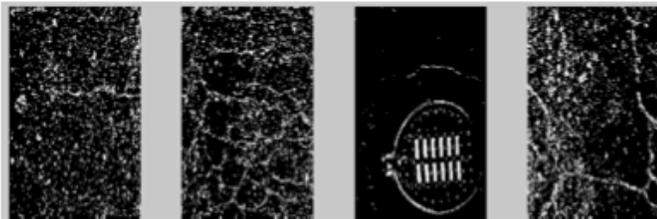


Figura 9. Imagen binaria de la transformada Wavelet aplicada por ventanas a la misma imagen.

Con el fin de obtener la máxima información de la imagen se realizó una suma de imágenes. Una de ellas es la resultante de la transformación logarítmica que contiene información que pudo haberse perdido en la extracción del patrón de iluminación, la otra es la resultante de aplicar la transformada wavelet.

III. RESULTADOS

De la suma de imágenes se obtiene un buen contraste entre la grieta y el fondo, por lo tanto se puede utilizar un algoritmo de segmentación automática. El método de Otsu [5] es uno de los mejores métodos de selección de umbral para imágenes del mundo real, por lo tanto se eligió para la binarización de las imágenes tratadas en este trabajo.

Después de dicho proceso se observa ruido correspondiente a la textura y manchas sobre el pavimento. Sin embargo, las grietas tienen un área mayor a las partículas que pertenecen al ruido. Entonces éste último se puede eliminar con operaciones morfológicas. La figura 10 muestra las imágenes resultantes de cada etapa del proceso.

IV. CONCLUSIONES

Se desarrolló y programó un método eficiente para la corrección de la iluminación y aumento de contraste de las imágenes. La grieta se extrae mediante operaciones morfológicas. Debido a que el vehículo utilizado para la adquisición no cuenta con sistema de iluminación las imágenes

resultan oscuras y con sombras, por lo tanto se obtienen discontinuidades en la grieta.

Como trabajo futuro se propone implementar un algoritmo basado en la conectividad y orientación de los píxeles con el fin de obtener una grieta continua de manera automática. Posteriormente, se integrará un algoritmo para la clasificación de las grietas, según la normatividad utilizada por la SCT.

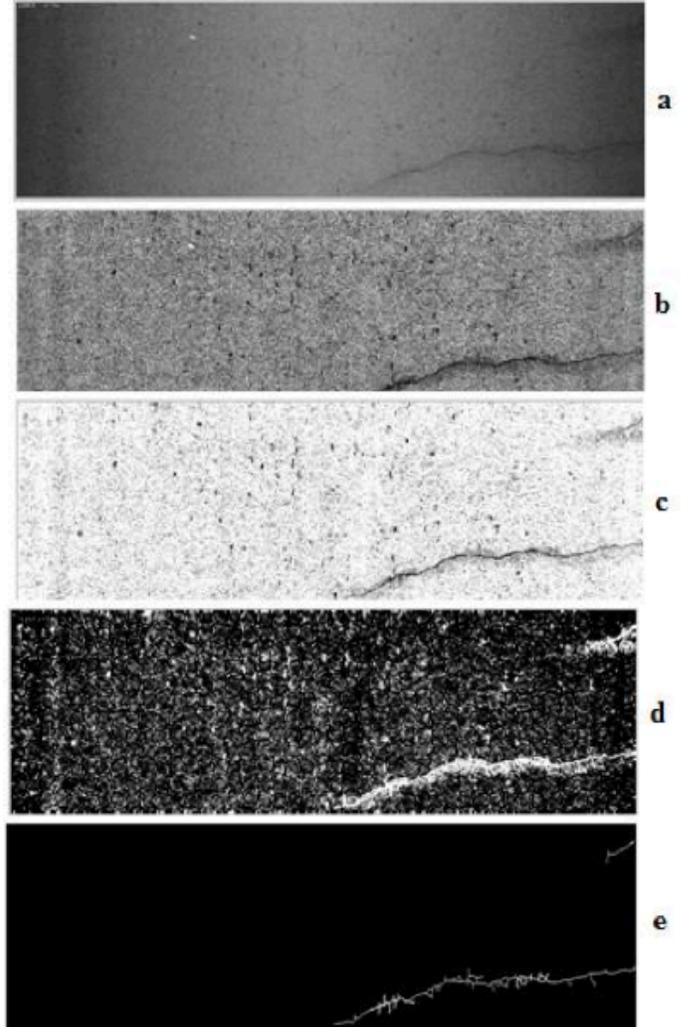


Figura 10. Resultados del proceso: en (a) se muestra la imagen después de la transformación logarítmica, (b) es el resultado de la extracción del patrón de iluminación a la imagen en (a), en (c) se muestra la suma de las imágenes (a) y la transformación Wavelet por ventanas, (d) es la imagen binaria de (c), finalmente (e) muestra el esqueleto de la grieta después de realizar operaciones morfológicas sobre (d).

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo recibido para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] T. Monem, A. Oloufa, H. Mahgoub. "Asphalt Crack Detection Using Thermography". *InfraMation*. Junio, 2005.
- [2] H. Oliveira, P. Correia. "Automatic road crack segmentation using entropy and image dynamic thresholding". 17th European Signal Processing Conference (EUSIPCO), Escocia, Agosto 24-28, 2009.
- [3] P. Subirats, O. Fabre, J. Dumoulin, V. Legeay and D. Barba, "A combined wavelet-based image processing method for emergent crack detection on pavement surface images", 12th European Signal Processing Conference (EUSIPCO), Vienna Austria, September 6-10, 2004.
- [4] B. Javidi, J. Stephens, S. Kishik, T. Naughton, J. McDonald, A. Isaac. "Pilot for automated detection and classification of road surface degradation features," unpublished.
- [5] N. Otsu. "A threshold selection method from gray level histograms". *IEEE Trans. Syst. Man Cybern*, 1979.
- [6] S. Mallat. "A Wavelet Tour of Signal Processing". Academic Press, Elsevier. 2009.

Iris Segmentation from Video

Luis M. Zamudio-Fuentes¹, Mireya S. García-Vázquez¹, Alejandro A. Ramírez-Acosta²

¹Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (CITEDI-IPN),

Avenida del Parque 1310, Tijuana, B.C. México 22510

²MIRAL. R&D, 1047 Palm Garden, Imperial Beach, 91932 USA.

Abstract— Iris pattern is the most reliable biometric in terms of recognition and identification performance. Now a day's iris recognition base on video is growing rapidly. In order to obtain a robust identification system it requires a fast and accurate iris segmentation method to improve the recognition rate. In this paper we perform four optimizations to automates our previous segmentation method and reduce the computing time to localize pupil and limbus boundary using a Circular Hough Transform. In this work we use a histogram to analyze the pixel intensities to detect and eliminate the sclera, eyelid and strong reflection region. In addition we analyze and implement a bank of Gabor filter to remove the eyelashes in order to obtain a fast iris region from video and free of noise.

Index terms— Video Iris recognition, biometric, segmentation, eyelash detection.

I. INTRODUCTION

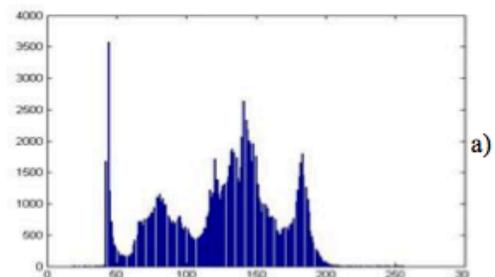
Now a day's iris recognition, is the most reliable biometric in terms of recognition and identification performance. Since 1985, Leonard Flom y Aran Safir proposed the concept "two irises are not equal" [1]. Later in 1994 Daugman [2] patented the first iris recognition algorithm. After that many researches about iris recognition had been developed. However, all those works had one inconvenient. The user must to cooperate to been recognized. Consequently in 2006 the first video iris acquisition system was implemented called "iris on the move" [3] to reduce the user interaction. In addition, either iris recognition system from still or video requires an accurate and fast iris segmentation phase. Indeed, the false iris region information decreases the recognition rate [4, 5]. It is therefore importance to identify the source of noise such as eyelashes and reflection to improve the quality of the segmentation and the performance of the iris recognition. In this paper we present four optimizations to automate our previous segmentation method [6, 7]. The optimization also reduces the computing time to localize pupil and limbus

boundary. We use geometrical approximation to localize the boundaries. On the other hand, if eyelid, eyelashes, sclera or strong reflections are considered in the iris pattern, the recognition rate will decrease. In this work we use a histogram to analyze the pixel intensities to detect and eliminate the sclera, eyelid and strong reflection region. In addition we analyze and implement a bank of Gabor filter to remove the eyelashes in order to obtain a fast iris region from video and free of noise.

The remainder of this paper is organized as follows. Section 2 reviews all iris segmentation optimizations; section 3 explains the eyelash detection method. Implementation, results and discussion are presented in section 4. Finally, in section 5, we draw discussion and give suggestions for future work.

II. OPTIMIZED IRIS REGION DETECTION

In iris recognition system pupil and limbus boundary localization phase should be fast an accurate. Thus, we realize four optimization to improve our previous work [6, 7] which localize the boundaries using a Canny filter to obtain the border map and the Circular Hough Transform CHT. First, this method dynamically determines the region of interest ROI. This ROI is the area where the pupil boundary finding algorithm will begins. In order to perform this automation we analyze a gray scale histogram which is used to observe the pixel's intensity distribution of the whole image. We know a priori that the intensity of the pupil in gray scale is almost zero [8]. To estimate the value of the pupil region we implement an algorithm which analyzes the peaks and valleys over the histogram. This algorithm applies a media filter to the histogram and calculates the slopes to detect peaks over the histogram. Fig. 1 shows two histograms from two different images extracted from the MBGC video eye database.



Luis Miguel Zamudio is a master student from Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (CITEDI-IPN). This center belongs to Instituto Politécnico Nacional. Address: Avenida del parque 1310, Tijuana, B.C. México 22510. (Phone Number: (664) 623 1344; e-mail: zamudio@citedi.mx).

PhD. Mireya S. García is researcher professor in CITEDI-IPN (e-mail: mgarciav@citedi.mx).

PhD. Alejandro A. Ramírez Acosta is researcher in MIRAL. R&D, 1047 Palm Garden, Imperial Beach, 91932 USA. (Email: ramacos10@hotmail.com).

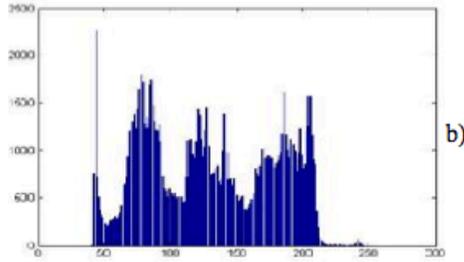


Figure 1. Histogram from two different images extracted from the MBGC video eye database.

The first peak is considered as the value of the intensity of the pupil. Equation (1) is used to determine dynamically the ROI where the pupil is,

$$\text{if } f(x,y) < h_1, \text{ then } f(x,y) = 255 \quad (1)$$

Where $f(x,y)$ is the intensity value of each pixel in image and h_1 is the value of the first peak. Secondly after eq. 1 we consider the position of all the changed pixels and stored in $pos_x(k)$ and $pos_y(k)$. Where k is the total number of pixels that changed. To select the ROI we obtain a pseudo center by calculating the average of the x and y coordinates as equation 2.

$$pseudo_x = \frac{\sum_1^k pos_x(k)}{k}, \quad pseudo_y = \frac{\sum_1^k pos_y(k)}{k} \quad (2)$$

From the pseudo center we expand a square of size 160 x 160 pixels as ROI (Fig. 2). Then we continue using the Circular Hough Transform to localize iris boundaries.

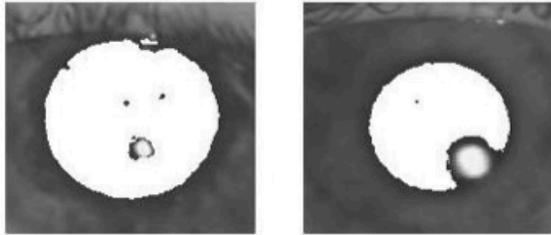


Figure 2. Shows the pupil's ROI of the two images extracted from the MBGC video eye database.

As we know the Circular Hough Transform [9, 10] is an exhaustive voting method. The second optimization is the reduction of the computing time to obtain the boundaries. This is a consequence of automatically determine the pupil's ROI. On the other hand, we reduce the voting pixels that are considered to calculate de CHT. Mohamed et al in [11], reduces the pixels of the ROI by eliminating the pixels in the pair columns. In this optimization we eliminate the pair columns and rows of the ROI. After this reduction we eliminate 75 % of the pixels. We reduced the time however the segmentation results are the same.

The third optimization was the implementation of thinning algorithm. This is a morphological method that is used to make the borders thinner and reduce the pixels without losing the structure of the border. Fig. 3 shows the difference between a border map (left side) and thinning method of the image (right side).

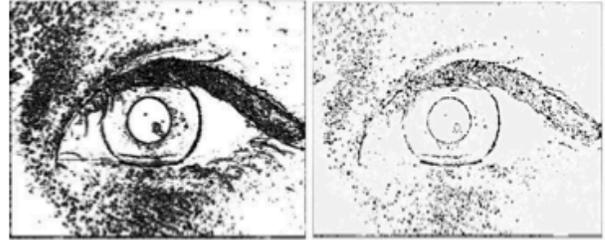


Figure 3. Shows a comparative between a border map and a border map after thinning.

As we know the limbus boundary is not a perfect circle. Thus, in the fourth optimization we use the same intensity histogram analysis with de peak detection to set the threshold which eliminates the sclera, eyelid pixels and strong reflections from the iris segmentation. The strong reflection is one of the most common noises which are over the eye area. This noise would be generated from many sources for example: acquisition system or the illumination is not constrained, the subject uses contact lenses, jewelry can reflect in to the eye too. The strong reflection could either affect the iris localization or iris pattern. After the histogram analysis we assume that the histogram is composed at least of three peaks. The first peak belongs to the pupil, the second to the iris region and the third to the eyelid, sclera region and strong reflection. We select the second valley to set the threshold h_2 which will remove the eyelid, sclera region and strong reflection from the iris segmentation by using the inequality (3).

$$IrisSeg(x,y) > h_2 \text{ then } IrisSeg(x,y) = 255 \quad (3)$$

If the intensity $IrisSeg(x,y)$ in iris segmentation is bigger than threshold h_2 , then that pixel will be eliminated from the iris segmentation.

III. EYELASH DETECTION

Two classes of eyelashes are defined, separable and multiple eyelashes. Separable eyelashes are defined as the eyelashes that can be distinguished from other eyelashes and multiple eyelashes are the eyelashes that overlap in a small area [12].

A. Separable eyelashes

Separable eyelashes can be distinguished from other eyelashes [12]; the pixels around separable eyelashes should not belong to others. Because of the intensity

difference between iris pixels and eyelash pixels, a separable eyelash can be regarded as an edge in an image. A Gabor filter is used as an edge detector or as feature extractor. Base on the first property, a Gabor Filter [13-16], is proposed to detect separable eyelashes.

Which, is in the spatial domain has the following general form.

$$g_{\gamma, \varphi, \theta, \lambda, \sigma}(x, y) = \exp\left(-x'^2 + \gamma^2 y'^2 / 2\sigma^2\right) \cos\left(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \varphi\right) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} x' &= x \cos\theta + y \sin\theta \\ y' &= -x \sin\theta + y \cos\theta \end{aligned} \quad (5)$$

Where x and y are the coordinates of the Gabor Filter, λ is the wavelength of the cosine factor on the Gabor filter, θ is the parameter that specifies the orientation of the normal to the parallel strips of the Gabor filter, φ is the phase offset in the argument of cosine factor and it's specified in degrees, γ is the spatial aspect ratio which specifies the ellipticity of the support of the Gabor filter, σ is the standard deviation of the Gaussian factor of the Gabor function. We use general form of the filter because we are detecting features from 2D image. Therefore using a 2D filter the feature extraction will be more accurate.

B. Multiple eyelashes

Many eyelashes overlap in a small area. Such that, the change of intensity variation in this area is almost zero. Thus, is necessary to obtain the variance of the intensity in this area and verify if is smaller than a threshold. It can be described [4] as:

$$\sum_{i=-N}^N \sum_{j=-N}^N \frac{(f(x+i, y+j) - M)^2}{(2N+1)^2} < K_2 \quad (6)$$

Where M is the mean of intensity in the small window; $(2N+1)^2$ is the window size and K_2 is a threshold.

We analyze λ, θ, γ and σ which are the main parameters to obtain the best bank of Gabor filter to detect eyelash. After this analysis is considered that changing the θ value will detect more eyelash features that changing λ . In this paper we report that λ value is 8 and it is specified in pixels, the γ values is set as 0.5, σ is obtain it by the product of the bandwidth b and the wavelength. The bandwidth value is 1.3. Once we observe and analyze the images we determine that the angle of the eyelash is between 0 and 135 degrees, with these angles all the orientation of the eyelashes is covered.

We filter the image in the spatial domain as follow in (7)

$$imfil(x, y) = \sum_{-0}^m \sum_{0}^n i(x - m, y - n) * g(m, n) \quad (7)$$

Where i is the original image, g is the Gabor filter, $*$ denotes the spatial convolution and $imfil$ is the result after filtering. Fig. 4 shows four different Gabor filter with different θ value a) 0, b) 45, c) 90, d) 135 degrees and the region which belong to an eyelash. At the left side the figure shown Gabor function on the other hand we can observe the detection of the eyelash in black. After eyelash detection the algorithm select the black region from the result of all filters to eliminate the eyelashes. Each filter contributes in the detection. After separable eyelash the multiple eyelash detection is compute. Image e) shows the result of the eyelash detection.

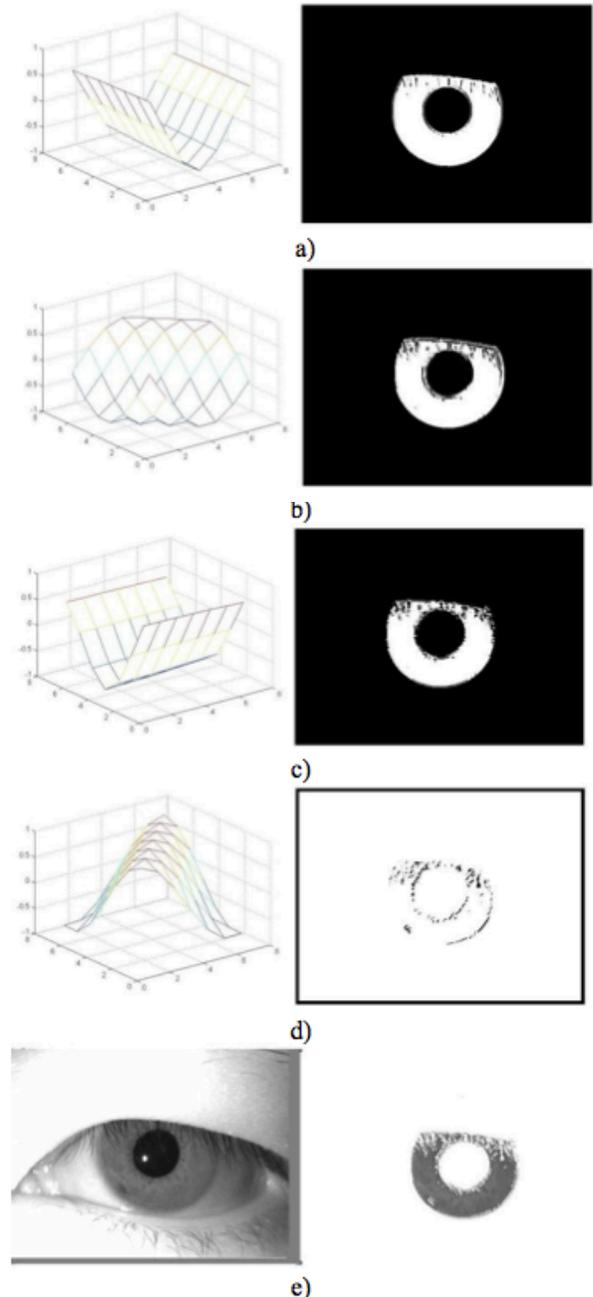


Figure 4. Shows all filters to detect eyelashes and its result.

After image is convolve with each filter the result is compared versus a threshold. In this work for all theta values the threshold is between [-500 to 0].

IV. IMPLEMENTATION AND RESULTS

In the experiments we test the segmentation system with 5 frames extracted from 30 video from the MBGC NIR eyes video data base [17]. This contains 8590 eyes images. These data sets were acquired using an Iridian LG EOU 2200 camera.

The Fig. 5 shows a diagram with all the steps to obtain accurate iris segmentation. Once the eye image is obtained, the first step consist in analyze the histogram of the whole image to set the threshold and determine the pupils ROI. Secondly we perform the second optimization and use canny filter to generate a border map and CHT to detect boundaries as we present in our previous work. Then we use again the histogram analysis to set the threshold to remove eyelid, sclera and strong reflection region of the iris segmentation. After that we use a bank of Gabor filter as we present in [7] to accurate remove eyelashes.

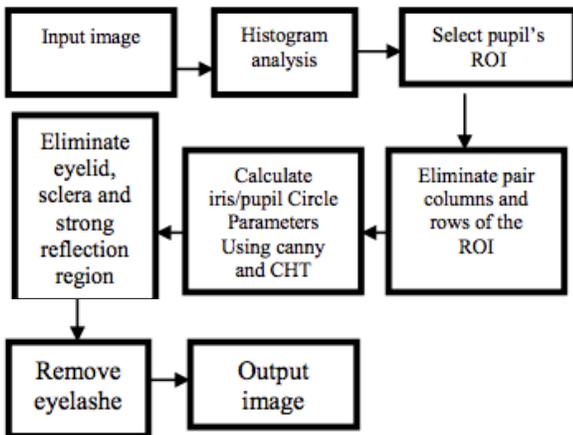


Figure 5. All steps to obtain accurate iris segmentation.

On the other hand, we compare our segmentation method versus Libor's Masek segmentation [18]. Table 1 shows a comparative of the two methods.

Table 1. Comparative with the Libor's method.

	Optimize method	Libor's method
Image database	MBGC NIR Video eye	CASIA Still iris images
Automatic pupils ROI	yes	no
Eyelid sclera removal	yes	no
Eyelash removal	yes	no

It is important to note that the proposed algorithm performs the iris segmentation step and eyelash detection in 86.25% faster than Libor Masek's algorithm. In Fig. 6 there

are some differences between the proposed method and the method of Libor Masek segmentation step.

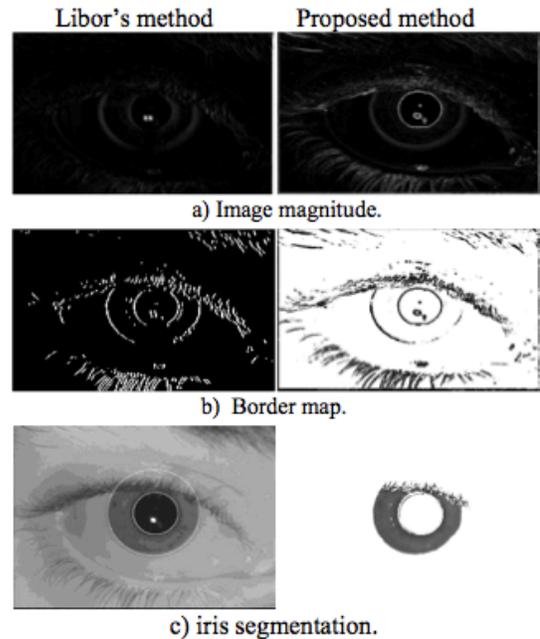


Figure 6. Differences between the proposed method and Libor's Masek Method at different steps.

We test the circle finding time and the overall average latency of these two methods in Matlab 7.7 with 150 images as described before. The computer was a Pentium dual core 2.2 Ghz with 3 GB of ram. Fig. 7 shows an example of this comparison. Case a) and b) are two different frames from different video. At the left column is the original frame, the middle column shows our iris segmentation method without sclera, eyelid or eyelashes. The right column shows Libor's Method.

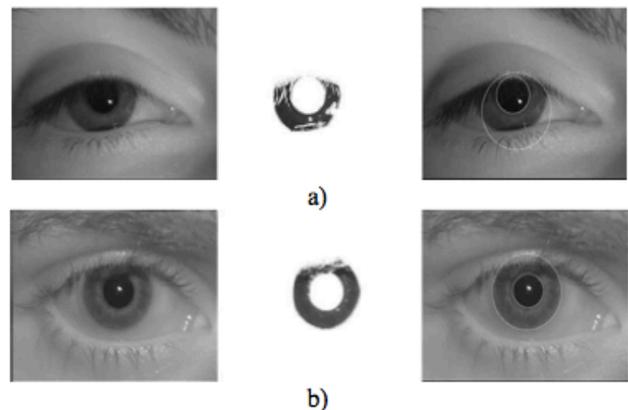


Figure 7. Comparison between two frames from different video.

V. DISCUSSION AND FURTHER WORK

In the optimization performed the border map was analyzed to observe if the border structure is affected by eliminate some columns or rows, ruling that could eliminate either

pair columns as rows and the essence of the edge will remain. This will remove 75% of the pixels and enhance the computing time. On the other hand, the TCH is an intensive search algorithm that requires considerable computational load. So, the optimization made at the border map reduces the execution time to 10 seconds. It is worth mentioning that the accuracy of this algorithm depends initially on the automatic location of the search region of the pupil. If the pupil is too small won't get a very accurate segmentation due the number of pixels that conform the pupil would be very small and perhaps other regions of the image with more pixels could locate a wrong iris boundary. This segmentation method uses eyelash detection to complete this step, although not all researchers consider this phase. However, the conjunction of these steps gives more precision to segment and extract only the iris region of the image. At this stage we analyzed the selection of optimum parameters for implementing a Gabor filter bank. The parameters evaluated were the size of the filter, the wavelength and orientation. We analyze the behavior of the wavelength λ , it was observed that if its value increases, then the filter size must also increase, so it was considered that its value is approximately the size of the filter. Also, to achieve optimum eyelash detection the angle orientation of θ has to be changing rather than changing the wavelength λ of the filter. Being the most significant values of θ 0, 45, 90 and 135 degrees for detection and removal the eyelashes.

Acknowledgment: This work was supported by IPN-SIP20100030.

REFERENCES

- [1] NISTC Subcommittee on Biometrics and Identity Management Room. "Biometrics history". <http://www.biometrics.gov/Documents/BioHistory.pdf>.
- [2] John Daugman. "Biometric personal identification system based on iris analysis", United States patent #5291, 560.
- [3] James R. Matey, Senior Member IEEE, "Iris on the Move: Acquisition of Images for Iris Recognition in Less Constrained Environments. Proceedings of the IEEE | Vol. 94, No. 11, November 2006.
- [4] Luis M. Zamudio, Mireya S. García, Juan M. Colores. "Revisión de las Etapas de Adquisición y Pre-Procesamiento de Imagen en un Sistema de Reconocimiento Basado en Iris". VI Taller-Escuela de Procesamiento de Imágenes PI09 CIMAT. Agosto, 2009. Gto. México.
- [5] GuangZhu Xu, ZaiFeng Zhang, YiDe Ma. "Automatic Iris Segmentation Base on Local Areas". The 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'06). IEEE 2006.
- [6] Luis M. Zamudio, Mireya S. García, Alejandro A. Ramírez, "Iris Segmentation Using a Statistical Approach", MCPR 2010, Second Mexican Conference of Pattern Recognition. Springer LNCS6256. September 27th-29th, 2010.
- [7] Luis M. Zamudio, Mireya S. García, Alejandro A. Ramírez. "Gabor Filter Design for Eyelash Detector on Iris Recognition". VI Encuentro Regional Académico ERA10. Noviembre 2010. Tijuana, B.C., México.
- [8] Yu Chen, Jin Wang, Changan Han, Lu Wang, Malek Adjouadi, "A robust segmentation approach to iris

- recognition based on video", *aipr*, pp.1-8, 2008 37th IEEE Applied Imagery Pattern Recognition Workshop, 2008.
- [9] Hough Transform, www.vislab.uq.edu.au/education/sc3/2000/hough/report/node3.html.
- [10] Hough Transform www.cis.rit.edu/class/simg782/lectures/lecture_10/lec782_05_10.pdf.
- [11] Mohamed Rizon, Haniza Yazid, Puteh Saad, Ali Yeon Md Shakaff, Abdul Rahman Saad Masanori Sugisaka, Sazali Yaacob, M.Rozailan Mamat and M.Karthigayan "Object Detection using Circular Hough Transform". *American Journal of Applied Sciences* 2 (12): 1606-1609, 2005, ISSN 1546-9239,
- [12] Kong, Zhang, "Detecting Eyelash and Reflection For Accurate Iris Segmentation", *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*. Vol. 17, No. 6(2003) 1025-1034.
- [13] Gabor filter, "Multiresolution Design of Multiple Gabor Filters for Texture Segmentation", www2.uncc.edu/tpw/diss/diss.html.
- [14] Peter Kovesi, "Gabor filter and Log-Gabor filter". www.csse.uwa.edu.au/~pk/research/matlabfns/PhaseCongruency/Docs/convexpl.html.
- [15] www.ee.surrey.ac.uk/CVSSP/Ravi/RaviDoc/share/doc/RAVL/html/Gabor.pdf.
- [16] Difference between Gabor and Log-Gabor filters. www.csse.uwa.edu.au/~pk/Research/MatlabFns/PhaseCongruency/Docs/convexpl.html
- [17] Multi Biometric Grand Challenge MBGC. face.nist.gov/mbgc/.
- [18] Libor Masek. "Recognition of human iris patterns for biometric identification". Documento reportado para obtener el grado de ingeniero en The University of Western Australia. 2003.

Real-Time Counting of moving objects in H.264 video flows

G. Flores-Chapa, L.M. Rojas-Cardenas, Hossam Afifi
Department of Electrical Engineering, UAM-Iztapalapa, México D.F., México
Departament RSM, Telecom SudParis, Evry, France
Phone (52) 5558044635 Fax(53) 5558044628 Email:lmrc@xanum.uam.mx

Abstract—This paper proposes a real-time and low cost system for automatic tracking and counting of moving objects in H.264 video flows. In contrast to most of approaches proposed in the literature, which normally process raw images/pictures with costly image processing methods, our approach employs the motion information already contained in H.264 video sequences. So, our proposal is based on three main elements: 1) H.264 moving vectors, 2) a morphological description of the objects to be counted and 3) a forward object position estimator for reducing counting errors. A number of tests has been achieved over High-Defintion TeleVision (HDTV) video sequences (1440x1080 pixels at 25 frames per second) and results show that the proposed approach is capable of achiving real-time object counting.

Index Terms—Counting Object, Computer Vision, Object Tracking

I. INTRODUCTION

In computer vision, counting objects is an active research area where the problem has been analyzed for a variety of objects densities, for distinct camera positions and a number of several different techniques. Additionally, those approaches can be classified, in general, as: Counting objects in the pixel domain and counting objects in the video compress domain. In the former domain, it is possible to develop algorithms for recognizing and counting objects with great accuracy. Unfortunately, they are very costly in computational resources, specially when they are integrated into conventional tele-surveillance systems. Indeed, these counting objects systems must consider not only the processing time for their algorithms but also the decoding time of video sequences. In practice, most of approaches in this domain are not able to deal with real-time video flows, specially if state-of-the-art cameras are considered, which normally generate H.264 video sequences that currently go from VGA (640x480 pixels) to HDTV (1920x1080 pixels) at 25/30 frames per second. On the other hand, counting objects in the video compress domain offers a number of advantages: 1) Information about how objects move in the scene is ready to use and it can be easily recovered in the form of moving vectors (MV), 2). Additional information, such as textures and colors, aid to improve the accuracy of recognition and counting process. This information is directly available too, 3) The obtaining of these information requires a partial decoding only, specifically, a VLC decoding. These elements allow to create low cost

algorithms. Actually, there are several research works based on this approach. In the domain of MPEG II, in [2] MV are used to track objects and additional information such as DCT coefficients allow to improve accuracy. They do not inform about the temporal performance of their approach nor about he picture size and frame rate. In [8], MV are grouped by means of a k-means clustering algorithm. This algorithm reduces tracking errors by eliminating MV related to covered regions. They implement their approach in MATLAB and C language, which allows to process from 4 to 10 frames per second depending on the size of the object to be tracked. The characteristics of the video are not mentioned. Moreover, to cope with real-time applications they propose a multiprocessor implementation. For object tracking in H.264/AVC, [9] employs neural networks. This approach is based on information directly available on the H.264 data flow, specifically MV and textures. The utilization of textures requires areas related to MV to be completely decoded, which is very costly. Nevertheless, they show that it is possible to track objects without considering information contained in Intra-frames. Indeed, only P and B frames are taken into account, even if they show some deformations. Our proposal works similarly. The tests has been achieved over video sequences with pictures having 352x288 pixels and they report a processing capacity of about 240 frames per second. [8] proposes a object tracking algorithm based on contours extracted from motion vector information. A technique called "area-region" is used to reduce errors in case of occlusions. A post-processing phase is required for establishing the object's area. On the other hand, camera position is an important aspect. The most straightforward strategies use top-view cameras in order to avoid occlusions. Nevertheless, the main disadvantage of this solution is that it makes difficult people identification. More sophisticated approaches place cameras in front of the people flows. It has been shown that [7] the best camera's position for tracking objects is when objects flow is parallel with respect to the camera's axis. In this document, we propose a system for object counting based on moving vectors. On the other hand, our system can be classified as zenithal, that is, the camera is placed at the top, with a view angle that is perpendicular to the plan where objects move. This avoids occlusions between objects. Moreover, we employs video sequences obtained from conventional IP cameras.

II. SYSTEM OVERVIEW

The proposed system achieves, above all, the extraction of MVs. This task is accomplished by means of a Huffman decoding procedure (see Figure 1). Then, a filter is applied to

the recovered MVs in order to keep MV having a given magnitude; they are candidates for grouping them. Actually, this grouping represents the corner stone of our proposal. Grouping choice MV by tracking into account their magnitude and direction. After grouping, a morphological filter determines which groups of MV must be considered to counted; The objects that do not conform this criteria are discarded. On the other hand, for our system, an object is counted only once: when the object appears in the scene. For guarantee that this occurs only once, the system tracks the object anywhere in the scene and a forward position predictor is used to reduce errors. Finally, the system allows a counting zone to be established, which can be tuned in order to satisfy the application requirements.

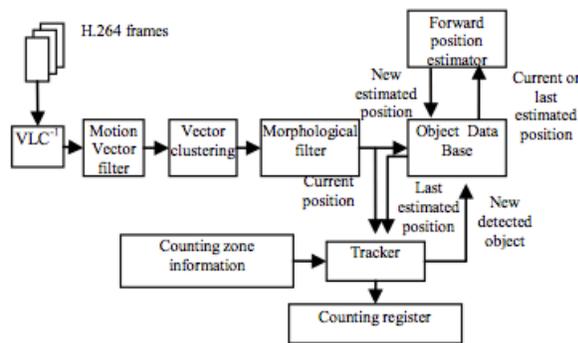


Fig.1. System overview

1.1 Filtering procedure

For each GOP, a VLC decoding procedure is applied to P and B frames only. The information they offer can be represented as:

$$VM_i = (mb_i, x_i, y_i) \quad (1)$$

Where VM_i represents the i -esimo moving vector, mb_i represents the block number related to the moving vector. x_i is the horizontal component of the moving vector and y_i is the vertical component. The vector's magnitude is obtained by means of the Euclidean distance. That requires mb_i to be clipped:

$$mbx_i = mb_i \text{ MOD } sh \quad (2)$$

$$mby_i = mb_i \text{ DIV } sh \quad (3)$$

$$\sqrt{(x_i - mbx_i)^2 + (y_i - mby_i)^2} \geq \text{umbral} \quad (4)$$

Where sh is the size of pictures.

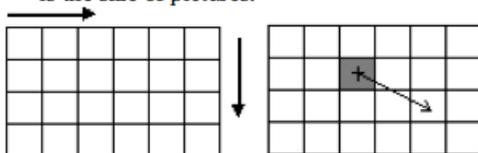


Fig.2. Orden de decodificación de macrobloques para la extracción de vectores de movimiento.

1.2 VM Clustering

The type of objects considered in this system corresponds to those solid objects moving at a speed more or less regular and its morphology is relatively static. A cloud of smoke, the foliage of certain trees, a blanket moved by the wind to produce irregular shapes are not considered by our system. On this condition, it is expected that the VM-related objects have a set of vectors that share the same magnitude, direction and spatial proximity. Defined as:

$$CVM = \{VM_1, \dots, VM_n\} \quad (5)$$

$$GVM = \{GVM_1, \dots, GVM_k\} \quad (6)$$

$$VM_i \in GVM_j \quad (7)$$

where CVM is the set of vectors in the current frame that match the defined criterion in (4), GVM is the set of clusters of motion vectors in the current frame and $VM_i \in GVM_j$ defines the relationship "corresponds to", which implies that the spatial distribution (location within the video scene) of VM_i wholly or partially belong to the spatial distribution of GVM_j , otherwise $VM_i \notin GVM_j$ (see Figure 3). At the beginning of the decoding of the current framework, the cardinality of the set CVM and GVM is zero.

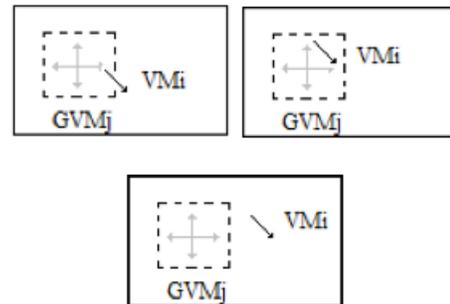


Fig.3. Relationship "corresponds to" between VM_i and GVM_j

VM clustering is done by tracking data within the borders of a frame following the sequential storage order defined by the standard. This indicates that while the VM is stored in sequence, these correspond to an order from left to right and from top to bottom with respect to a decoded image (see Figure 2).

The process of filtering and grouping of vectors are performed concurrently, which means that the tracing of vectors is done once, as shown:

1. Be VM_{n+1} the following vector decoded
2. Be VM_{n+1} add to $CVM = \{VM_1, \dots, VM_n\}$
3. If $\exists GVM_j$ within $GVM = \{GVM_1, \dots, GVM_k\}$, such that $VM_{n+1} \in GVM_j$

Resets the area GVM_j , if necessary, for VM_{n+1} corresponds to totally within the spatial distribution of GVM_j (see Figure 4.b).

4. Otherwise

Is defined GVM_{k+1} using as the spatial distribution of VM_{n+1} add a tolerance, this tolerance will allows next spatial vectors can be clustered. It adds GVM_{k+1} in GVM (see Figure 4.a).

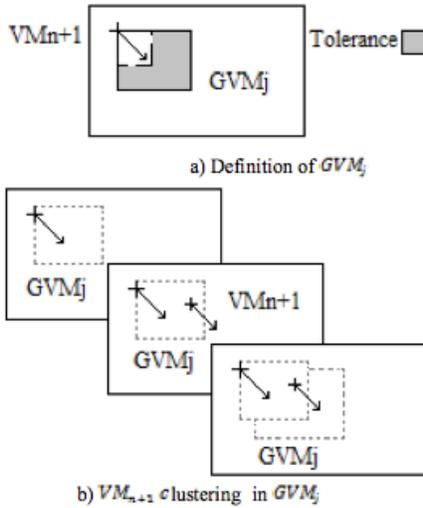


Fig.4. VM clustering

1.3 Morphological Filter

The morphological filter receives as input the current frame set GVM , which contains clusters of vectors candidates for moving objects MO . The procedure that determines when a GVM_i is regarded as a MO uses two basic elements: the number of VM for this GVM and spatial distribution (area covered) of GVM_i . Then, each GVM_i who meets these criteria define a filtering MO . Define:

$$CMO = \{MO_1, \dots, MO_k\} \quad (8)$$

where CMO is the set of MO for the current frame, and MO_i is the i -th MO in CMO for the current frame. It is important to note that the cardinality of CMO is less than or equal to the cardinality of GVM . This set is the input data for tracking moving objects.

1.4 Database Objects

This database contains the information of the MO found. For each MO the following data is stored:

1. Spatial distribution
2. Orientation
3. Last reference frame

Define:

$$DBMO = \{DMO_1, \dots, DMO_k\} \quad (9)$$

where $DBMO$ which defines a set of MO they have been tracked in previous frames, these MO are different elements of the set denoted as CMO and denotes DMO_i as the i th element in $DBMO$.

1.5 Tracking moving objects

This module has the responsibility to track any moving object that appears in the video scene until it disappears. This type of monitoring prevents count an MO more than one time, moreover, not only uses the spatial position obtained from the decoded current frame but also the previous position recorded

in the database $DBMO$.

MO tracing found at the scene wide takes elements in CMO that correspond to the MO found in the current frame. The following procedure is performed for all MO_i in CMO founded in the current frame:

1. If $\exists DMO_j$ in $DBMO = \{DMO_1, \dots, DMO_k\}$, such that DMO_j follow to MO_i

Then it is considered that DMO_j continues in the video sequence, so it is necessary to update your details in the $DBMO$.

2. Otherwise

It verifies if the distribution of MO_i this near to the spatial limits of video scene, in which case the object is appended to the $DBMO$.

We define the relationship "follow to" as

$$dsMO_i = dsDMO_j + \Delta ds \quad (10)$$

where $dsMO_i$ is spatial distribution of MO_i in CMO , $dsDMO_j$ is the spatial distribution of DMO_j contained in the database $DBMO$ and Δds is a prediction of spatial distribution of DMO_j using as parameters its orientation and last frame of reference.

This process not only uses the spatial position obtained from the decoded current frame but also the previous position recorded in the database objects. The predicted position is determined by the front position estimator. It is necessary to compare the current position of the movement of the object with the estimated position because sometimes a moving object "disappears" from the scene, particularly when there is no motion vectors in the current framework that is related to the object in question. In this case, the estimated position helps establish a relationship between the object disappeared and the object appeared in the center of the scene. Of course, this is not possible in a video taken in the real world. Therefore it is necessary to have evidence that these two objects are related. Also, in case of "missing objects" and "no recurrence", each moving object recorded in the data base has an associated TTL. This timer allows an object to be eliminated from the database after a given period. We have defined the counter TTL to 5 frames.

III. EXPERIMENTAL RESULTS

As established at the beginning of this document, this system has been implemented for a fixed top-view highresolution camera. One of the goals of this project is to obtain a very fast algorithm that enables a single desktop computer to manage video flows coming from several video cameras. We measure a mean processing time of around 400 μs per frame, that without considering the inverse VLC process.

In our experimental tests we use video sequences with moving objects (people) as shown in Figure 4. Our

experimental results in low density flows showed an average processing time of 425.93 micro seconds per image, this result is as expected due to the simplicity of our proposal. The average time for processing depends largely on the number of objects in the video scene.

Our system has a high reliability when the video stream is low, however, the reliability decreases as the special distribution of objects is very close, so that in future work is expected to characterize the movement of an object vector in order to qualify.

As far as the cases where our system offers good results, these cases are:

- a) Identification and tracking of objects without bringing big objects such as trolleys, pushchairs, etc. This task is accomplished with accuracy and satisfactory performance.

This task is accomplished very quickly because the processes to be achieved are simple. They only are: the definition of the object area, the morphological filtering and the database updating.

In the case of multiple motion objects at the same rhythm and very close, an estimation of the size allows to determine the number of object moving under such conditions.

- b) Removing of vector cluster no corresponding to objects. Our system is intelligent enough to identify vector cluster whose morphology differs considerably from the object morphology.

IV. CONCLUSION AND FUTURE WORK

In this work we propose a lightweight method for automatic counting object system that process H.264 video sequences and, in particular, it process motion vectors already contained in the bitstream. Tacking this kind of information offers two main advantages: The H.264 coder solve the problem of obtain motion information from the scene and then, it allows achieve a low cost counting process in terms of computing resources, which enable a single computer to handle the video coming from several video cameras. Here, our system is capable of processing a high-resolution frame (1440x1080 pixels) at around 400 μ s. That does not consider the time of the inverse VLC process.

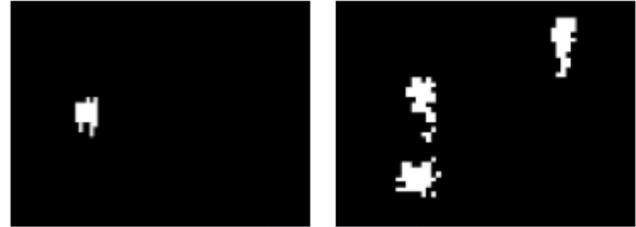
A tracking system allows object to be followed during their presence in the scene as well as it avoids counting more than once a object. This system relies on two important procedures: a morphological filter and a forward position estimator.



a) Objects in the scene video



b) Motion vectors



c) Objects identified

Fig.5. Automatic counting objects

References

- [1] O. Javed, Z. Rasheed, K. Shafique, and M. Shah. Tracking across multiple cameras with disjoint views. Proc. Ninth IEEE International Conf. Computer Vision, pages 952-957, October 2003.
- [2] R. Achanta, M. Kankanhalli, and P. Mulhem. Compressed domain object tracking for automatic indexing of objects in MPEG home video. In IEEE International Conference on Multimedia and Expo, volume 2, pages 61-64, 2002.
- [3] P. Kelly, A. Katkere, D. Kuramura, S. Moezzi, S.Chatterjee, and R. Jain. An architecture for multiple perspective interactive video. Proc. ACM Multimedia, pages 201-212, 1995. B. Smith, "An approach to graphs of linear forms (Unpublished work style)," unpublished.
- [4] M. Bhuyan, B. Lovell, A. Bigdeli. Tracking with multiple cameras for video surveillance. In Digital Image Computing Techniques and Applications. 9th Biennial Conference of the Australian Pattern Recognition Society, Glenelg, Australia, pages 592-599, December 2007.
- [5] H.-L. Eng and K.-K. Ma. Motion trajectory extraction based on macroblock motion vectors for video indexing. In International Conference on Image Processing, volume 3, pages 284-288, 1999.
- [6] W. Zeng, J. Du, W. Gao, Q. Huang. Robust moving object segmentation on H.264/AVC compressed video using the block-based MRF model. Journal of Visual and Image Representation. Vol. 20, 428-437.
- [7] F. Bartolini, V. Capellini, C. Giani. Motion estimation and tracking for urban traffic monitoring. Proc. Of ICIP, Vol. 3, pp. 787-790, 1996.
- [8] K. Hariharakrishnan, D. Schonfeld. Fast object tracking using adaptive block matching. IEEE Transactions on Multimedia 2005;7(5): 853-859.
- [9] W. You, M.S. Hoauri, M. Kim. Moving Object Tracking in H.264/AVC bitstream. Proceedings of the 2007 international conference on Multimedia content analysis and mining, pages 483-492, 2007.

Una metodología integral para el modelado cinemático de manipuladores móviles con ruedas

Gastón H. Salazar-Silva*, Jaime Álvarez Gallegos[†] y Marco A. Moreno-Armendáriz[‡]

*Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas-IPN
Av. Instituto Politécnico Nacional 2580, Col. La Laguna Ticoman, Delegación Gustavo A. Madero
C.P. 07340, Ciudad de México, D.F., correo-e: ghsalazar@ipn.mx, teléfono: 5729-6000 ext. 56525

[†]Secretaría de Investigación y Posgrado-IPN

[‡]Centro de Investigación en Computación-IPN

Resumen—El modelado cinemático de un manipulador móvil se ha atacado obteniendo por separado los modelos cinemáticos de la base y del brazo manipulador, para posteriormente conjuntar ambos modelos. El presente trabajo muestra un método sistemático de modelado cinemático de manipuladores móviles que transforma el problema al modelado de un manipulador estacionario con restricciones cinemáticas no holónomas en las articulaciones; se presenta además un ejemplo de la aplicación del método.

Index Terms—Robot control, Mobile robots, Robots kinematics.

I. INTRODUCCIÓN

Un robot manipulador móvil consiste en un robot manipulador montado sobre una base, que a su vez es un robot móvil; un ejemplo particular es un brazo manipulador sobre un robot móvil de tracción diferencial. Los manipuladores móviles tienen varias ventajas con respecto a los manipuladores estacionarios, por ejemplo un manipulador móvil tiene un espacio de trabajo de mayor tamaño del que podría tener en la práctica un manipulador estacionario.

Este tipo de robots puede realizar las tareas de locomoción y manipulación; anteriormente ambas tareas se han manejado como dos problemas independientes, por ejemplo en [1] se concentra en el movimiento de la base móvil, y [2], [3] que se concentran en el movimiento del brazo manipulador. Sin embargo, recientemente ha habido trabajos que empiezan a desempeñar ambas tareas simultáneamente, por ejemplo [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12].

En cuanto al problema del modelado cinemático de un manipulador móvil, éste se sigue atacando como si fueran dos problemas independientes, obteniendo por separado los modelos cinemáticos de la base y del brazo manipulador, y posteriormente conjuntando ambos modelos [13]. Una razón de emplear este enfoque es que el movimiento de un manipulador móvil con ciertos tipos de locomoción, por ejemplo ruedas, esta sujeto a restricciones no holónomas.

Debido a la utilidad de los manipuladores móviles, es importante poder disponer de modelos cinemáticos que permitan un rápido y fácil análisis del manipulador así como de la tarea; también es importante disponer de herramientas que construyan sobre el conocimiento ya existente y no tener que usar dos metodologías distintas para el modelado de cada parte

del manipulador móvil, lo cual que afecta a la obtención del modelo dinámico.

El presente reporte muestra un método integral de modelado cinemático de manipuladores móviles con ruedas que permite aplicar las mismas herramientas usadas en el modelado de robots estacionarios y presentan a los manipuladores móviles como un caso particular de aquellos. Este método considera que el manipulador móvil es un robot estacionario con articulaciones que presentan restricciones no holónomas; este enfoque permite que se puedan usar las herramientas ya existentes para la obtención de los modelos cinemático y dinámico, por ejemplo los parámetros de Denavit-Hartenberg y los Jacobianos geométricos.

En la literatura revisada, la metodología de modelado de los manipuladores móviles es determinar por separado los modelos cinemáticos de la plataforma móvil y del brazo manipulador, utilizando diferentes técnicas para cada caso. Un trabajo fundamental para el modelado de robots móviles es [14]; propone cuatro tipos de modelos para robots móviles con ruedas y su obtención; también presenta una clasificación de robots móviles con ruedas basados en su grado de movilidad y grado de maniobrabilidad.

Un esquema de modelado cinemático de manipuladores móviles se presenta en [15], [16], [17], [10], [11], [18], donde se determina por separado la el modelo cinemático de la plataforma móvil y del brazo. En [13] se presenta un método para combinar el modelo cinemático de la base móvil con el del manipulador estacionario, pero se sigue modelando el móvil y brazo por métodos diferentes. Ejemplos especialmente interesantes son [10], [11], donde tanto el móvil como el brazo tienen restricciones no holónomas y sin embargo se modelan por diferentes medios.

En [19] se presenta una metodología general para el modelado dinámico de sistemas mecánicos no holónomos, y en particular de robots móviles. Usan como herramienta principal el método de Euler-Lagrange e incorporan las restricciones no holónomas por medio de multiplicadores de Lagrange; sin embargo, depende del modelo cinemático para cancelar las restricciones no holónomas. El modelo dinámico obtenido tiene el estado reducido a causa de las restricciones cinemáticas.

El esquema del presente trabajo tiene la siguiente estructura: el proceso de modelado cinemático de manipuladores

estacionarios y robots móviles se revisa en la sección II

El método de modelado de manipulador móviles considerando que son simplemente manipuladores estacionarios con articulaciones que tiene restricciones cinemáticas se presenta en la sección III

Como demostración del método, se obtienen los modelos cinemático y dinámico de un manipulador móvil de 5 grados de libertad (gdl) en la sección IV así como la implementación de un control por dinámica inversa y un control cinemático.

II. MODELADO

Un modelo cinemático describe la relación que existe entre el movimiento de un sistema mecánico y las velocidades de los actuadores.

En robótica móvil se utilizan básicamente dos tipos de modelos cinemáticos: el de postura y el de configuración [14]. El modelo cinemático de postura es la relación que existe entre las derivadas de las variables de la postura y las derivadas de las variables de los actuadores. En un manipulador estacionario donde las velocidades de los actuadores son iguales a las velocidades de los actuadores, el llamado Jacobiano se puede considerar el modelo cinemático de postura.

En cuanto al modelo cinemático de configuración, éste es la relación que existe entre las derivadas de las variables de la configuración y las derivadas de las variables de los actuadores. En el caso particular de manipuladores estacionarios, las variables de los actuadores coinciden usualmente con las variables de la configuración.

A continuación se presenta las metodologías de modelado de brazos manipuladores, en la sub-sección II-A, y de robots móviles, en la sub-sección II-B

II-A. Modelo cinemático de un manipulador estacionario

Para la obtención del modelo cinemático de un manipulador estacionario se requiere tener inicialmente su cinemática directa; ésta se define como la expresión que describe la relación que existe entre la postura y la configuración, usualmente en la forma

$$r_m = f_m(q) \quad (1)$$

donde $r_m \in \mathbb{R}^p$ es un vector compuesto por las variables de postura, $q \in \mathbb{R}^n$ es un vector con las variables articulares del robot y expresa la configuración de éste; p es la dimensión de la postura y n es la dimensión de la configuración, usualmente denominada grado de libertad (gdl).

Una herramienta ampliamente socorrida para la obtención de la cinemática directa de un manipulador estacionario es la transformación homogénea [20], la cual se puede construir a partir de los parámetros de Denavit-Hartenberg, que describe características geométricas de los eslabones y articulaciones que componen el robot.

En el caso de un manipulador estacionario con todas sus articulaciones actuadas independientemente, el modelo cinemático es simplemente la relación

$$\dot{r}_m(t) = J_m(q)\dot{q}_m(t) \quad (2)$$

donde \dot{r}_m y \dot{q}_m son las derivadas con respecto al tiempo de las variables de postura y de configuración del manipulador respectivamente; la matriz $J_m(q)$, denominada como Jacobiano, se define como

$$J_m(q) = \frac{\partial f_m}{\partial q}(q).$$

Una de las tantas aplicaciones del Jacobiano es la obtención del modelo dinámico de sistema mecánicos. Una forma de determinar el Jacobiano es usar el método geométrico; una ventaja este método es que no se requiere calcular explícitamente las derivadas de la cinemática, sino que se aprovecha la información obtenida de las transformaciones homogéneas [20].

II-B. Modelo cinemático de un robot móvil

El modelo cinemático de un robot móvil con ruedas esta caracterizado por las restricciones al movimiento impuestas por las ruedas [19], [14]; es por esto que a primeramente se revisa brevemente el tema de las restricciones cinemáticas y posteriormente entra en el tema de los modelos cinemáticos.

Una restricción cinemática es aquella que restringe el movimiento de alguna manera; las restricciones cinemáticas pueden ser holónomas y no holónomas. Un sistema mecánico se dice *holónomo* si existe un conjunto de k restricciones del movimiento de la forma

$$h_i(q) = 0, \quad i = 1, \dots, k.$$

Este tipo de restricciones son geométricas, ya que limitan en donde puede estar la configuración del sistema. Si el sistema mecánico esta limitado por restricciones del tipo

$$a_i(q, \dot{q}) = 0$$

se dice que el sistema es *no holónomo*.

Un caso particular es cuando las restricciones tienen la forma llamada *Pfaffiana*, que es cuando las ecuaciones son lineales con respecto a la velocidad:

$$a_i(q)\dot{q} = 0.$$

En este caso particular, si además existen funciones $h_i(q)$, tal que

$$\frac{\partial h_i}{\partial q}(q) = a_i(q),$$

entonces se dice que las restricciones son integrables y el sistema es holónomo; si no existen dichas $h_i(q)$ entonces el sistema es no holónomo.

El modelo cinemático de un robot móvil se obtiene a partir del espacio nulo de las restricciones cinemáticas no holónomas del robot móvil. Se han propuesto dos tipos de modelos cinemáticos [14]. El primero de ellos establece una relación entre las derivadas de las variables de configuración y las derivadas de las variables de los actuadores.

El segundo tipo de modelo solo considera la relación de las velocidades de las variables de postura con respecto a las velocidades de las variables de los actuadores; este modelo se llama modelo cinemático de postura. Este modelo es el

utilizado en [19] cuando se estudia la dinámica de un robot móvil o de un manipulador móvil.

La postura de un robot móvil con ruedas sobre un piso plano queda completamente especificado por el vector

$$r_b := \begin{pmatrix} x \\ y \\ \phi \end{pmatrix}$$

donde x y y son las coordenadas en el plano del robot móvil y ϕ denota la orientación del robot con respecto al plano. En el caso de que el robot móvil tuviera ruedas orientables centradas, se debe extender la postura para incluir los ángulos de las ruedas.

El modelo cinemático de postura para un robot móvil del tipo de tracción diferencial es de la forma [14]

$$\dot{r}_b(t) = B(r_b)\eta_b \quad (3)$$

donde $\eta_b(t) \in R^{n-k}$ es el vector de velocidades de los actuadores, y $B(q) \in R^{n \times (n-k)}$ es una matriz cuyas columnas son una base del espacio nulo de las restricciones; para el caso de un robot móvil con dirección diferencia esta definido como

$$B(r_b) = \begin{pmatrix} \cos \phi & 0 \\ \sin \phi & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Otro modelo cinemático de interés es el de configuración, que se define como

$$\dot{q}_b(t) = S_b(q)\eta_b \quad (4)$$

utilizado en [19] cuando se estudia la dinámica de un robot móvil o de un manipulador móvil.

La postura de un robot móvil con ruedas sobre un piso plano queda completamente especificado por el vector

$$r_b := \begin{pmatrix} x \\ y \\ \phi \end{pmatrix}$$

donde x y y son las coordenadas en el plano del robot móvil y ϕ denota la orientación del robot con respecto al plano. En el caso de que el robot móvil tuviera ruedas orientables centradas, se debe extender la postura para incluir los ángulos de las ruedas.

El modelo cinemático de postura para un robot móvil del tipo de tracción diferencial es de la forma [14]

$$\dot{r}_b(t) = B(r_b)\eta_b \quad (3)$$

donde $\eta_b(t) \in R^{n-k}$ es el vector de velocidades de los actuadores, y $B(q) \in R^{n \times (n-k)}$ es una matriz cuyas columnas son una base del espacio nulo de las restricciones; para el caso de un robot móvil con dirección diferencia esta definido como

$$B(r_b) = \begin{pmatrix} \cos \phi & 0 \\ \sin \phi & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Otro modelo cinemático de interés es el de configuración, que se define como

$$\dot{q}_b(t) = S_b(q)\eta_b \quad (4)$$

y el Jacobiano de la base J_b , que se obtiene de manera independiente.

Entonces el modelado cinemático de un manipulador móvil depende de poder encontrar el Jacobiano J y esto a su vez depende de poder conjuntar de alguna manera la cinemática del manipulador y la base móvil. La cinemática de un manipulador móvil esta dada por la función

$$r = f(q_b, q_m) \quad (7)$$

donde r es la postura del manipulador móvil q_b y q_m son las coordenadas generalizadas de la base móvil y del manipulador respectivamente, f es la cinemática del manipulador móvil, que no esta sujeta a las restricciones no holónomas.

Un método para encontrar las cinemáticas directas del manipulador estacionario y la base móvil, además de que permite conjuntarlas, son las transformaciones homogéneas [20]; en particular para el caso del manipulador móvil se tiene que [16]

$$T_n^0 = T_b^0 T_n^b$$

donde T_b^0 es la transformación homogénea que va de un marco de referencia $\{b\}$ en la plataforma móvil a un marco base de referencia $\{0\}$ y T_n^b es la transformación homogénea que va de un marco de referencia $\{n\}$ en el ultimo eslabón del brazo manipulador al marco de referencia $\{b\}$. En la literatura no existe una forma estandarizada para encontrar la transformación T_b^0 ; una forma posible es considerar el y el Jacobiano de la base J_b , que se obtiene de manera independiente.

Entonces el modelado cinemático de un manipulador móvil depende de poder encontrar el Jacobiano J y esto a su vez depende de poder conjuntar de alguna manera la cinemática del manipulador y la base móvil. La cinemática de un manipulador móvil esta dada por la función

$$r = f(q_b, q_m) \quad (7)$$

donde r es la postura del manipulador móvil q_b y q_m son las coordenadas generalizadas de la base móvil y del manipulador respectivamente, f es la cinemática del manipulador móvil, que no esta sujeta a las restricciones no holónomas.

Un método para encontrar las cinemáticas directas del manipulador estacionario y la base móvil, además de que permite conjuntarlas, son las transformaciones homogéneas [20]; en particular para el caso del manipulador móvil se tiene que [16]

$$T_n^0 = T_b^0 T_n^b$$

donde T_b^0 es la transformación homogénea que va de un marco de referencia $\{b\}$ en la plataforma móvil a un marco base de referencia $\{0\}$ y T_n^b es la transformación homogénea que va de un marco de referencia $\{n\}$ en el ultimo eslabón del brazo manipulador al marco de referencia $\{b\}$. En la literatura no existe una forma estandarizada para encontrar la transformación T_b^0 ; una forma posible es considerar el

donde η es el vector de variables de actuación y esta definido por

$$\eta = \begin{bmatrix} \eta_b \\ \dot{q}_m \end{bmatrix},$$

$S(q)$ es el modelo cinemático de configuración para todo el manipulador móvil, definido por

$$S(q) = [S_b(q) \quad I]$$

donde I es una matriz identidad de las dimensiones adecuadas que indica en que articulaciones las velocidades articulares son iguales a las velocidades de actuación. En la figura 1 se visualiza el modelo cinemático de configuración $S(q)$ como un mapeo del espacio de actuación al espacio de configuración, y el Jacobiano $J(q)$ como un mapeo entre este último espacio y el espacio de postura.



Figura 1. El Modelo cinemático de postura como composición de mapeos entre los espacios de actuación, de articulación y de postura.

El método propuesto presenta varias ventajas, como por ejemplo se utiliza un solo método para la obtención de la cinemática del obtener con la ayuda del Jacobiano básico, esto es no se requiere manipulador móvil. Otras ventajas son que el modelo cinemático se puede derivar explícitamente la cinemática y es posible usar directamente las herramientas computacionales ya existentes, como por ejemplo [21]

IV. EJEMPLO

Para probar la técnica de modelado se modeló un manipulador móvil consistente en un robot modelo Pioneer 3DX y un brazo manipulador modelo Cyton de 7 gdl. El Pioneer 3DX es un robot de tracción diferencial y en el Cyton se considerarán solo dos ejes, de tal manera que el manipulador móvil se considera de 5 gdl.

Para el modelado se considera que la base móvil se puede reducir a un monociclo sin deslizamiento con la superficie sobre la que avanza; además, la superficie se considera plana y horizontal. El brazo manipulador se supone un sistema planar de dos articulaciones de rotación y los eslabones se consideran como varillas.

El manipulador móvil se modeló de manera analítica con ayuda del paquete álgebra computacional Maxima. También se obtuvo un modelo numérico por medio del *robotics toolbox* de Matlab [21]; este paquete es para modelar robots estacionarios, pero usando la técnica propuesta se puede aplicar para el modelado de manipuladores móviles.

Para obtener la cinemática directa, se considera que la base móvil puede modelarse como un robot cartesiano en dos ejes y un tercer eje rotacional, tal como aparece en la figura 2. A partir de esta descripción se obtienen los parámetros de Denavit–Hartenberg que aparecen en la tabla I

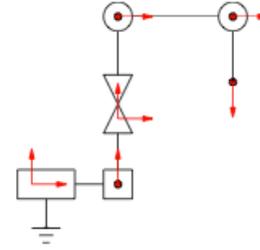


Figura 2. Disposición de un manipulador estacionario como modelo para obtener la cinemática directa de un manipulador móvil de 5 gdl. Los primeros tres ejes representan a la base móvil.

Tabla I

PARÁMETROS DE DENAVIT–HARTENBERG PARA EL MANIPULADOR MÓVIL DE 5 GDL. LOS ÁNGULOS ESTÁN EN RADIANES Y LAS DISTANCIAS EN MILÍMETROS.

i	α	a [mm]	θ	d [mm]	tipo de par cinemático
1	$-\pi/2$	0	0	0	prismático
2	$-\pi/2$	0	$-\pi/2$	0	prismático
3	$+\pi/2$	0	0	237	rotacional
4	0	150	0	0	rotacional
5	0	168	0	0	rotacional

IV-A. Modelo cinemático

Manteniendo la premisa de un robot estacionario, la configuración del manipulador móvil se denota por medio del vector $q(t) \in \mathbb{R}^5$ y, tal como se aprecia en la figura 2, queda definida como

$$q = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \\ \theta_5 \end{pmatrix}$$

donde d_1 y d_2 son las coordenadas (x, y) del móvil sobre el plano, $\theta_3 = \phi$ es la orientación del robot móvil, y por otro lado θ_4 y θ_5 son las variables articulares del brazo manipulador.

En cuanto a la restricción cinemática del manipulador móvil de 5 gdl esta dada por la matriz $A(q) \in \mathbb{R}^{5 \times 1}$ y se define por la expresión

$$A(q) = \begin{pmatrix} \sin q_3 \\ -\cos q_3 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Dada esta restricción, un posible modelo cinemático de configuración del manipulador móvil esta dado por

$$\dot{q} = S(q)\eta \quad (10)$$

donde $\eta \in \mathbb{R}^4$ son las velocidades de los actuadores esta definido como

$$\eta = (v, \dot{q}_3, \dot{q}_4, \dot{q}_5)^T$$

donde $v(t)$ es un escalar que describe la velocidad lineal de la base móvil, y el modelo cinemático de configuración $S(q) \in$

$\mathbb{R}^{5 \times 4}$ esta definido por

$$S(q) = \begin{pmatrix} \cos q_3 & 0 & 0 & 0 \\ \sin q_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (11)$$

que satisface la propiedad de ser un aniquilador de (9).

IV-B. Modelo dinámico

El modelo dinámico de un sistema mecánico con restricciones no holónomas esta definido por un conjunto de n ecuaciones diferenciales de segundo orden de la forma [19]

$$\begin{aligned} D(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + g(q) &= A(q)\lambda + S(q)\tau \\ A(q)^T \dot{q} &= 0 \end{aligned} \quad (12)$$

donde $D(q) \in \mathbb{R}^{n \times n}$ es la matriz de inercia del sistema, $C(q, \dot{q}) \in \mathbb{R}^{n \times n}$ es la matriz de las fuerza centrífuga y de Coriolis, $g(q) \in \mathbb{R}^n$ es un vector que representa la fuerza de gravedad sobre los eslabones, $A(q) \in \mathbb{R}^{n \times h}$ representa una matriz donde se codifican m restricciones cinemáticas, $S(q) \in \mathbb{R}^{m \times n}$ es la matriz de entrada, y $\tau \in \mathbb{R}^m$ representa las fuerzas generalizadas que entran al sistema.

Aprovechando la relación (5), es posible eliminar la declaración explícita de la restricción en (12); para ello se premultiplica el (12) por $H(q)^T$ y se aplica posteriormente la transformación (3) se obtiene la siguiente expresión [19]

$$\begin{aligned} \dot{q} &= S(q)\eta \\ \dot{\eta} &= -M(q)^{-1}m(q, \eta) + M(q)^{-1}S(q)^T S(q)\tau \end{aligned} \quad (13)$$

donde

$$\begin{aligned} M(q) &= S(q)^T D(q) S(q) \\ m(q, \eta) &= S(q)^T D(q) \dot{S}(q)\eta \\ &\quad + S(q)^T C(q, S(q)\eta) S(q)\eta + S(q)^T g(q) \end{aligned}$$

La dimensión del estado en el sistema (13) es menor que en el sistema (12).

Las matrices $D(q)$ y $C(q, \dot{q})$ del modelo (12) se obtuvieron a partir del procedimiento presentado en [20]. Para su cálculo se necesitó de diversas mediciones de los eslabones, cuyos valores aparecen en la tabla II; es importante notar que los eslabones 1 y 2 se consideran sin masa y por lo tanto no influyen en la dinámica.

Tabla II

DIMENSIONES DE LOS ESLABONES DEL MANIPULADOR MÓVIL DE 5 GDL; LA UNIDAD DE LAS MEDICIONES DE LONGITUD SON METROS Y LA DE MASA SON KILOGRAMOS. SE CONSIDERA QUE LOS ESLABONES 1 Y 2 NO TIENEN MASA.

i	Longitud [m]	Ancho	Altura [m]	Masa [kg]
3	0.445	0.393	0.237	9.0
4	0.150	0.050	0.050	0.1
5	0.168	0.050	0.050	0.1

El modelo alterno depende de la matriz \dot{S} ; para obtenerla se aprovecha la expresión [19]

$$\dot{S}(q)\eta = \sum_{i=1}^m \left(\eta_i \frac{\partial s_i}{\partial q}(q) \right) S(q)\eta$$

donde s_i es la i -ésima columna de la matriz $S(q)$. La matriz resultante para este manipulador móvil es

$$\dot{S}(q) = \begin{pmatrix} 0 & -\eta_1 \sin q_3 & 0 & 0 \\ 0 & \eta_1 \cos q_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Esta matriz también se utiliza para el control por dinámica inversa que se implantará en la siguiente sección.

IV-C. Control

El control usado en este ejemplo son dos controles en cascada; el lazo de control interno es por dinámica inversa o par calculado; este control en conjunto con una retro sencilla permite seguir una referencia de velocidad sobre los actuadores. El lazo de control externo es un control por resolución de aceleración sobre las variables de configuración.

El control por dinámica inversa usa la expresión [13] para encontrar las fuerzas generalizadas τ , tal que

$$\tau = (S(q)^T S(q))^{-1} m(q, \eta) + (S(q)^T S(q))^{-1} M a \quad (14)$$

donde la $a(t) \in \mathbb{R}^4$ es la referencia de la aceleración deseada en el sistema. A partir de (14) y planteando un esquema de retroalimentación dado por la ecuación

$$\dot{\tilde{\eta}} + K \tilde{\eta} = 0$$

donde $\tilde{\eta}$ es el error en la velocidad, definido como

$$\tilde{\eta} = \eta - \eta^d,$$

η^d es la velocidad deseada y K es una matriz positiva diagonal. Entonces el control esta dado por

$$\dot{\eta} = \dot{\eta}^d + K \tilde{\eta}$$

Para el control a nivel cinemático se utilizó un control por resolución de aceleración [22]. primeramente se propone una medida del error cinemático de configuración \tilde{q} , tal que

$$\tilde{q}(t) = q^d(t) - q(t).$$

donde $q^d(t) \in \mathbb{R}^n$ es la configuración deseada. El control se propone de acuerdo a la siguiente dinámica

$$\ddot{\tilde{q}}(t) + K_1 \dot{\tilde{q}}(t) + K_0 \tilde{q}(t) = 0$$

donde $\dot{\tilde{q}}$ y $\ddot{\tilde{q}}$ son la primera y la segunda derivadas de del error cinemático con respecto al tiempo. Resolviendo para \tilde{q} , se tiene que

$$\ddot{q} = \ddot{q}^d + K_1 \dot{\tilde{q}} + K_0 \tilde{q}. \quad (15)$$

Por otro lado, la expresión (10) se puede resolver para η tal que

$$\eta = S(q)^\dagger \dot{q}. \quad (16)$$

Aplicando (16) a (15) se obtiene la expresión

$$\dot{\eta} = S(q)^\dagger (\ddot{q}^d - \dot{S}(q, \eta)\eta) + K_1 \dot{\tilde{q}} + K_0 \tilde{q}.$$

Los controles en cascada se aplicaron a un modelo numérico del manipulador móvil. El resultado de una de las simulaciones

se ve en la figura 3; la referencia aplicada al control es trayectoria generada por medio de una interpolación lineal entre dos configuraciones distintas; es importante indicar que la trayectoria no necesariamente satisface la restricción no holónoma.

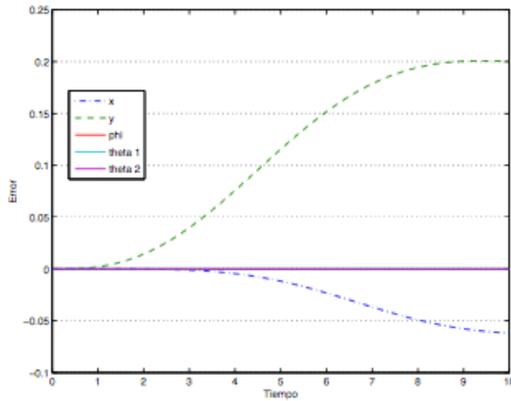


Figura 3. Gráfico del error cinemático de configuración para los controles en cascada de resolución de aceleración y de dinámica inversa.

V. CONCLUSIÓN

El presente trabajo muestra un método sistemático de modelado de manipuladores móviles que transforma el problema al modelado de un manipulador estacionario con restricciones cinemáticas no holónomas en las articulaciones. Se presentó además un ejemplo de la aplicación del método.

Como trabajo futuro esta el desarrollo de un control por prioridad de tareas en el espacio de postura para un manipulador móvil, y el desarrollo de un esquema de teleoperación con un maestro estacionario.

REFERENCIAS

- [1] Y. Wang, H. Lang, and C. W. de Silva, "Visual servo control and parameter calibration for mobile multi-robot cooperative assembly tasks," in *IEEE International Conference on Automation and Logistics, 2008. ICAL 2008*, Qingdao, 1–3 Sep. 2008, pp. 635–639.
- [2] J. Joshi and A. Desrochers, "Modeling and control of a mobile robot subject to disturbances," in *Proceedings of the 1986 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Apr. 1986, pp. 1508–1513.
- [3] L. B. Yu, Q. X. Cao, and X. W. Xu, "An approach of manipulator control for service-robot fisr-1 based on motion imitating," in *IEEE International Conference on Industrial Technology, 2008. ICIT 2008*, Chengdu, 21–24 Apr. 2008, pp. 1–5.
- [4] W. Ge, D. Ye, W. Jiang, and X. Sun, "Sliding mode control for trajectory tracking on mobile manipulators," in *IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems, 2008. APCCAS 2008*, Macao, 30 Nov.–3 Dec. 2008, pp. 1834–1837.
- [5] H. J. Lee and M. C. Lee, "Color-based visual servoing of a mobile manipulator with stereo vision," in *Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control*, vol. 17, no. 1, Seoul, Korea, Jul. 6–11 2008. [Online]. Available: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-70349408796&partnerID=40&md5=4268d31131969e1b303880ae539709c7>
- [6] H. Tai and T. Murakami, "A control of two wheels driven redundant mobile manipulator using a monocular camera system," in *15th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice, 2008 (M2VIP 2008)*, Auckland, 2–4 Dec. 2008, pp. 368–373.

- [7] C. Bu and K. Xu, "Robust control of mobile manipulator service robot using torque compensation," in *Proceedings of the 2009 International Conference on Information Technology and Computer Science (ITCS 2009)*, vol. 2, 2009, pp. 69–72. [Online]. Available: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-70350764616&partnerID=40&md5=e3ba6646fca00a6da33240a2b369a051>
- [8] C.-W. Bu and L.-X. Zhang, "Robust compensation control of mobile manipulator service robot," in *Proceedings of the 2009 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA 2009)*, vol. 1, 2009, pp. 860–864. [Online]. Available: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-70449447917&partnerID=40&md5=c2447186517807280878b46359bfff53>
- [9] T. Hong and Y. Qing-xuan, "Sliding mode control design of cleaning robot's mobile manipulator used in large condenser based on neural networks," in *Proceedings of the 2009 IITA International Conference on Control, Automation and Systems Engineering, 2009*, pp. 446–449. [Online]. Available: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-70449365469&partnerID=40&md5=07038b24093ade0132d3d242d2c04e9a>
- [10] A. Mazur and D. Szakiel, "On path following control of nonholonomic mobile manipulators," *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, vol. 19, no. 4, pp. 561–574, Dec. 2009. [Online]. Available: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-73949150270&partnerID=40&md5=6b07d60e4ccf87654bf0726e09bc876e>
- [11] A. Mazur, "Trajectory tracking control in workspace-defined tasks for nonholonomic mobile manipulators," *Robotica*, vol. 28, pp. 1–12, 2010. [Online]. Available: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-64849101510&partnerID=40&md5=572770d6be8a84f0f75df9b053bcf7ef>
- [12] B. Hammer, S. Koterba, J. Shi, R. Simmons, and S. Singh, "An autonomous mobile manipulator for assembly tasks," *Autonomous Robots*, vol. 28, no. 1, pp. 131–149, 2010. [Online]. Available: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-73549116546&partnerID=40&md5=6c580805ea36f887f13ae330f24be8e9>
- [13] A. De Luca, G. Oriolo, and P. R. Giordano, "Kinematic modeling and redundancy resolution for nonholonomic mobile manipulators," in *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Orlando, Florida, USA, May 2006, pp. 1867–1873.
- [14] G. Campion, G. Bastin, and B. Dandrea-Novel, "Structural properties and classification of kinematic and dynamic models of wheeled mobile robots," *IEEE Trans. Robot.*, vol. 12, no. 1, pp. 47–62, Feb. 1996.
- [15] B. Bayle, J.-Y. Fourquet, and M. Renaud, "Kinematic modelling of wheeled mobile manipulators," in *Robotics and Automation, 2003. Proceedings. ICRA '03. IEEE International Conference on*, 14–19 Sep. 2003, pp. 69–74.
- [16] Y. Li and Y. Liu, "Control of a mobile modular manipulator moving on a slope," in *Mechatronics, 2004. ICM '04. Proceedings of the IEEE International Conference on*, 3–5 Jun. 2004, pp. 135–140.
- [17] V. Padois, J.-Y. Fourquet, and P. Chiron, "Kinematic and dynamic model-based control of wheeled mobile manipulators: a unified framework for reactive approaches," *Robotica*, vol. 25, no. 2, pp. 157–173, 2007.
- [18] A. A. Ata, "Dynamic modelling and numerical simulation of a non-holonomic mobile manipulator," *International Journal of Mechanics and Materials in Design*, vol. 6, no. 3, pp. 209–216, 2010.
- [19] A. De Luca and G. Oriolo, *Kinematics and Dynamics of Multi-Body Systems*. Springer, 1995, ch. Modelling and control of nonholonomic mechanical systems, pp. 277–342.
- [20] M. W. Spong, S. Hutchinson, and M. Vidyasagar, *Robot Modeling and Control*. Wiley, 2006.
- [21] P. Corke, "A robotics toolbox for MATLAB," *IEEE Robotics and Automation Magazine*, vol. 3, no. 1, pp. 24–32, Mar. 1996.
- [22] Y. Nakamura, *Advanced robotics: Redundancy and optimization*. Addison-Wesley Publishing Company, 1991.

Enseñanza del Cálculo con apoyo de la tecnología

Elena Fabiola Ruiz Ledesma

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Cómputo, Departamento de Posgrado, México, D. F.
Email: efrui@ipn.mx Tel. (55) 57296000 ext. 52041

Resumen

En el presente artículo se muestra la importancia del uso de la tecnología, empleando simulaciones como estrategia didáctica en la resolución de problemas de optimización, tema correspondiente a la Unidad de Aprendizaje de Cálculo Aplicado. Este artículo es resultado del trabajo realizado en el proyecto con número de registro en la Secretaría de Investigación y Posgrado 20110343[1].

Para que el profesor apoye la resolución de problemas se promovió un proceso continuo para establecer una conexión entre las distintas formas de representación de la función que debe ser obtenida por el estudiante en la resolución de problemas de optimización. Estas formas de representación son: gráfica, tabular y numérica. Se diseñaron entrevistas a profesores y alumnos para tener un grado de profundidad mayor en los aspectos que se revisaron antes y después del empleo de las simulaciones.

Se concluye que el uso de la tecnología mediante el diseño de simulaciones permite modificar los cursos de los docentes y adoptar otras estrategias de enseñanza, de tal forma que el ejercitarlas está dirigido a provocar procesos de reflexión sobre la práctica, convirtiéndolos en procesos sistemáticos, así como incorporar conceptos de didáctica de las disciplinas específicas con la finalidad de mejorar la calidad de la enseñanza impartida.

Palabras clave: estrategias didácticas, cálculo, simulaciones, tecnología

1. Introducción

Existen elementos cognitivos en el desarrollo de la ingeniería, los cuales son centrales en el desarrollo de competencias laborales y profesionales, entre estos se encuentra el concepto de función. De manera específica y como una forma de delimitar la investigación que se realizó, el trabajo se centra al abordar actividades con las cuales el docente trabajó, de manera significativa para el estudiante, con aplicaciones como las de optimización, inmersas en problemas del cálculo, [2], unidad de aprendizaje que cursan los estudiantes de nivel superior en sus dos primeros semestres en la carrera de ingeniería en sistemas computacionales de la ESCOM.

En particular, en el presente artículo se muestra la importancia del uso de la tecnología como estrategia didáctica, al resolver problemas de optimización y se propone usar simulaciones en la resolución de problemas [3].

Se emplean los diseños elaborados y validados sobre problemas de optimización en diferentes contextos, mismos que surgieron del proyecto titulado "Diseño de estrategias didácticas para competencias del Cálculo Diferencial e Integral en Ingeniería" con No. de registro en la SIP 20100338. [4], el cual es considerado como un marco teórico-metodológico para abordar lo relacionado al tema en cuestión.

2. Justificación

Tomando como base el modelo educativo del Instituto Politécnico Nacional y los antecedentes de rendimiento y aprendizaje de las matemáticas, y en particular del Cálculo, [5] y [6], [7], [8], de nuestros estudiantes en dicha área y en relación con la solidez de los conocimientos asimilados, se ha podido comprobar que:

- Los estudiantes prefieren sólo resolver ejercicios, sin emplear axiomas, teoremas, definiciones, conceptos, etc.
- La negativa para resolver problemas, permite aseverar que usualmente los estudiantes olvidan lo que en un momento determinado demostraron haber aprendido, porque retuvieron en su memoria los conceptos y procedimientos objetos de aprendizaje como hechos aislados y no inmersos en una organización o estructura lógica.
- Generalmente lo aprendido en su momento al lapso del tiempo se reproduce tal cual sin conexiones con otros conocimientos y esto es debido a la falta de solidez.
- En la resolución de problemas hay bloqueo y es porque no hay una organización efectiva del conocimiento por los estudiantes.

Las dificultades presentadas por los estudiantes constituyen, entre otras, la justificación del por qué hay un índice elevado de estudiantes que reprueban la materia de Cálculo. Por lo que es necesario promover el aprendizaje en el alumno con el nuevo rol como profesor mediador entre la disciplina y el alumno.

3. Planteamiento del problema

Proporcionar al docente herramientas para que apoye el desarrollo de su trabajo en el aula mediante estrategias didácticas en torno a la resolución de problemas de optimización usando simulaciones. De aquí se desprende la siguiente pregunta de investigación:

¿El empleo de simulaciones permite al docente contar con una estrategia de enseñanza en la resolución de problemas que incorporan el concepto de optimización?

4. Aspectos Teóricos

En lo concerniente al trabajo que se desarrolló con los profesores para poder determinar estrategias que coadyuven a una mejor calidad en su labor, tomamos en cuenta lo señalado en [6], referente a la necesidad de analizar la planeación, instrumentación y evaluación de sesiones de resolución de problemas en contexto.

Ante este nuevo reto el papel del profesor se concibe dentro de un proceso dinámico en construcción permanente en el que participan todos los agentes educativos, siendo necesario consolidar los espacios de reflexión en los que se define la orientación del ejercicio docente.

En lo que respecta al trabajo propiamente del concepto de función, y sobre los registros de representación; gráfica, tabular y numérica, así como resolución de problemas, tenemos a Hitt [9], quien destaca que:

“La *visualización* matemática tiene que ver con el entendimiento de un enunciado y la puesta en marcha de una actividad, que si bien no llevará a la respuesta correcta sí puede conducir al resolutor a profundizar en la situación que se está tratando. Una de las características de esta visualización es el vínculo entre representaciones para la búsqueda de la solución a un problema determinado”. Hitt (2002b, p. viii).

Además, en [7] y [8], se señala que la visualización matemática de un problema juega un papel importante, y tiene que ver con entender un enunciado mediante la puesta en juego de diferentes representaciones de la situación en cuestión y ello nos permite realizar una acción que posiblemente puede conducir hacia la solución del problema.

El avance tecnológico ha influido notablemente en el desarrollo de nociones teóricas que son la base para entender el estudio de las diferentes representaciones de los objetos matemáticos y su papel en la construcción de conceptos. Ahora, con la tecnología, es importante el estudio de las diferentes representaciones de los objetos, lo cual se aborda en [10].

Duval [11] habla de la semiosis, sólo que relacionada con las representaciones, escribiendo que:

“Las representaciones semióticas, es decir, aquellas producciones constituidas por el empleo de signos (enunciado en lenguaje natural, fórmula algebraica, gráfico, figura geométrica...) no parecen ser más que el medio del cual dispone un individuo para exteriorizar sus representaciones mentales; es decir, para hacerlas visibles o accesibles a los otros. Las representaciones semióticas estarían, pues, subordinadas por entero a las representaciones mentales y no cumplirían más que funciones de comunicación.” (p. 14).

5. Aspectos Metodológicos y Resultados

La orientación metodológica se ubica en una perspectiva cualitativa, lo cual significa que se observaron fundamentalmente los aspectos cualitativos del proceso experimental, la cual se llevó a cabo a través de las siguientes fases:

1. Determinación de la muestra de los docentes a los que se les realizaron las entrevistas.
2. Determinación de la muestra de los estudiantes con los que se trabajaron las simulaciones y las entrevistas.
3. Selección de las actividades diseñadas y validadas en el proyecto de investigación Con No. 20100338. Se seleccionaron las más representativas, para ser discutidas y analizadas a través de entrevistas durante el desarrollo de las mismas.
3. Análisis de las situaciones encontradas para determinar estrategias que coadyuven a que el docente mejore la calidad del ingeniero que está formando.

4. Determinación de resultados y conclusiones.

Se tomó una muestra de 6 profesores que impartían la Unidad de Aprendizaje de cálculo Aplicado y 60 estudiantes que cursaban la Unidad de Aprendizaje de Cálculo Aplicado.

Los docentes que participaron en la entrevista señalaron lo siguiente:

- En la resolución de problemas de optimización los estudiantes no logran establecer la función con las que les permitirá trabajar y resolver la situación planteada.
- Los estudiantes están muy acostumbrados a usar el criterio de la primera y segunda derivada para encontrar máximos y mínimos pero no logran darle sentido a esta forma de trabajo. Son muy mecánicos.
- Mencionaron que se requiere hacer explícitas las aplicaciones de optimización mediante el uso del lenguaje gráfico.
- Es fundamental mostrar al alumno la relación que guardan los tres registros de representación: el gráfico, el tabular y el analítico.
- Lo anterior coincide con lo señalado en [7], [8], [9] y [10].

6. Estrategias empleadas en el trabajo de investigación:

1. Estrategia de justificación teórica en el desarrollo de los ejercicios operacionales.
2. Método comparativo.
3. Analogía reflexiva.
4. Hábito de estudio.
5. Empleo de simulaciones para resolver problemas.

En el presente artículo se muestra un problema de optimización empleando una simulación lo que aparece en las figuras 1, 2 3 4 5 y 6.

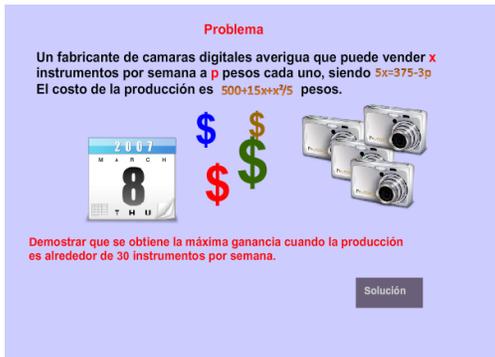


Fig. 1 Planteamiento del probleme de optimización

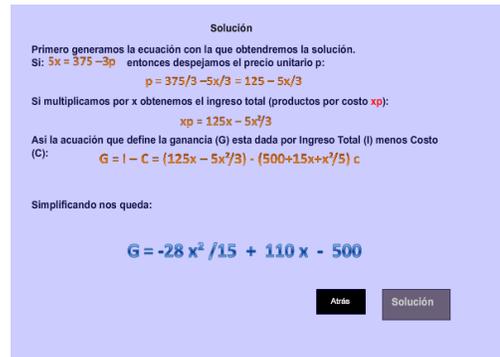


Fig. 2 Expresiones algebraicas para su solución

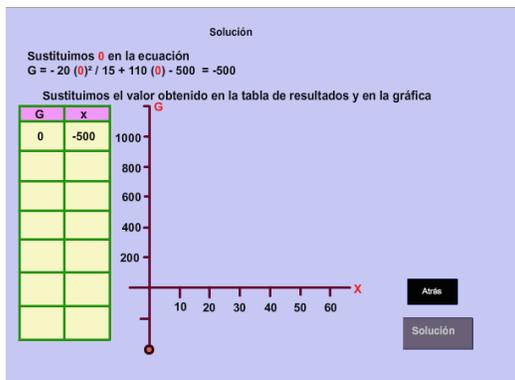


Fig. 3 Relación de los tres registros de representación

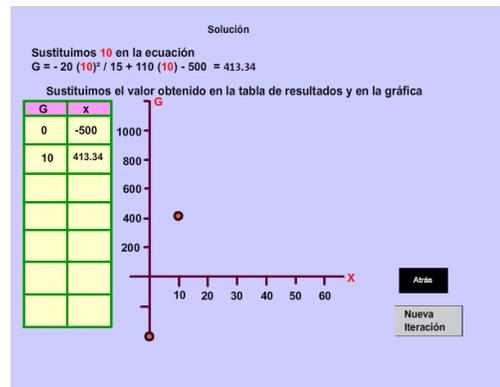


Fig. 4. Se añaden datos numéricos a la tabla y se refleja en la gráfica

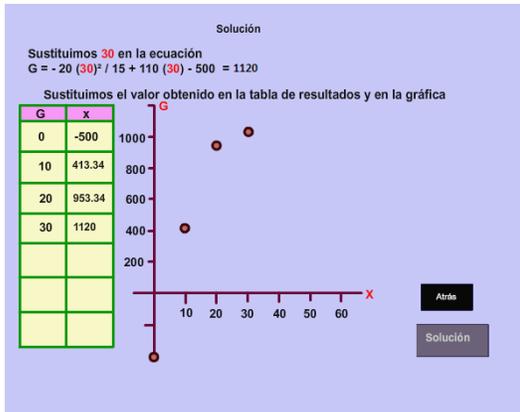


Fig. 5. Se añaden datos numéricos a la tabla y se refleja

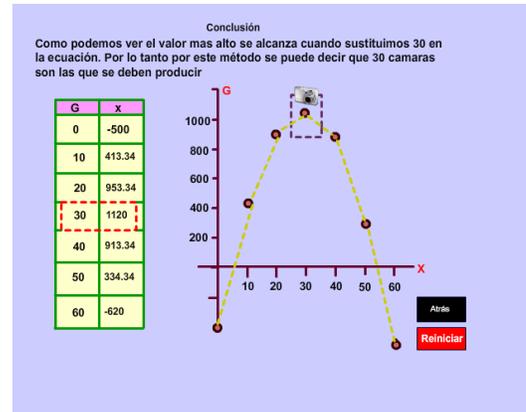


Fig. 6 Se obtiene la resolución del prolema en los en la gráfica tres registros.

Se trabajaron otros problemas, de los cuales se muestra el texto y la última pantalla que captura una parte de la simulación: Ver figuras 8, 9, 10 y 11.

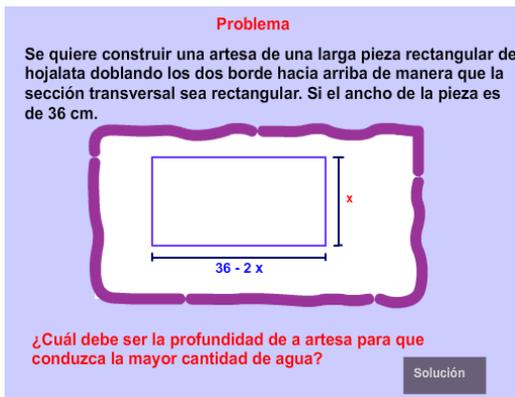


Figura. 8 Problema de la artesa

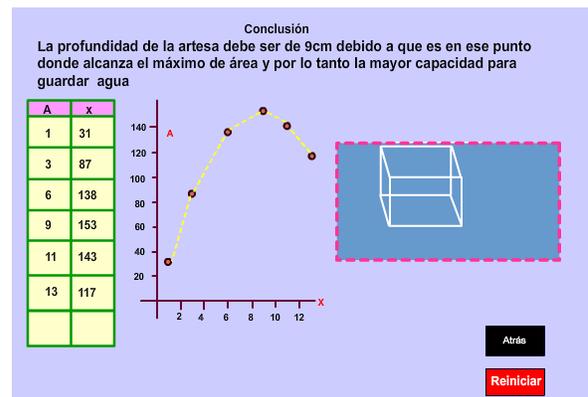
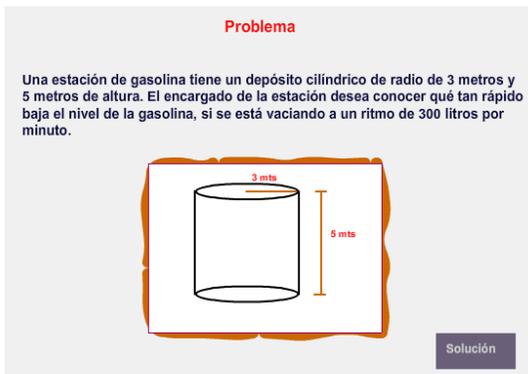


Figura. 9 Pantalla final con la solución.

También se le presentaron al estudiante problemas de razón de cambio, en las figuras 10 y 11 se muestra la pantalla inicial y la final de la simulación trabajada.



7. Resultados

Los 6 profesores que habían sido entrevistados emplearon distintas simulaciones de problemas de optimización. El que se muestra en el presente artículo es sobre la máxima ganancia que se obtiene al vender cierta cantidad de cámaras.

Con el empleo de esta simulación los profesores mencionaron su forma de trabajo y los resultados que obtuvieron.

Los docentes solicitaron a los estudiantes explicar el contenido del problema, formularon preguntas para determinar las variables involucradas y dieron aproximaciones como respuesta para lo cual emplearon una tabla dando valores, pero también graficaron y ubicaron puntos. De esta forma encontraron una respuesta haciendo uso de la tabla, la expresión algebraica y la gráfica. Las simulaciones les permitió a los estudiantes desarrollar su visualización y establecer una relación entre los tres registros señalados, tal y como lo mencionan Hitt [8], [9] y Duval [11],

A continuación se muestran las respuestas dadas a las preguntas que se formularon a la muestra de 60 estudiantes que cursaban la Unidad de Aprendizaje de Cálculo.

- 1) La resolución de problemas ayuda a: 2) La resolución de problemas lo motivó en su aprendizaje de Cálculo?

Razonar	22%
Aplicar la Teoría	78%

Si	78%
No	22%

- 3) El empleo de la tabla y la gráfica le permitió: 4) El comparar los tres registros de representación le sirvió para:

Visualizar la situación	72%
Leer datos	28%
Interpretar información	59%

Comprensión de lo que se está resolviendo	100%
Resolver el problema	97%
Interpretar lo que piden en el problema	89%

- 5) El empleo de simulaciones contribuyó a:

Comprensión de la situación planteada y su resolución	100%
Análisis del planteamiento del problema	86%
Visualizar la situación que plantea el problema	100%

8. Respuesta a la pregunta de investigación

Al respecto resultó que cuando el docente usa únicamente la estrategia expositiva el aprendizaje se torna mecánico, mientras que si emplea otras como el uso de problemas, empleo de la visualización y de los registros de representación semiótica, le permite tener elementos cognitivos y comunicativos que le ayudan en su labor académica. Resultados que coinciden con Hitt [8], [9] y Duval [11].

Mediante el uso de problemas con apoyo de la tecnología, en este caso en las simulaciones, se considera que los docentes pueden comprender la variedad de estrategias de enseñanza factibles de emplearse en el aula, con el objetivo de que el alumno le dé sentido al tema que trabaja y abandone el uso mecánico de las fórmulas.

Ejercitar otras estrategias de enseñanza está dirigido a provocar procesos de reflexión sobre la práctica, convirtiéndolos en procesos sistemáticos, con la finalidad de mejorar la calidad de la enseñanza impartida.

La modalidad del trabajo docente tiene como base: Determinar el problema de aula, diseñar acciones didácticas, aplicar y observar, analizar y visualizar conflictos.

9. Conclusiones

Debido a la libertad de cátedra, la forma de enseñar del profesor tiene que ver con sus creencias. En general la forma de enseñar en el nivel medio superior y Superior del IPN es a través de exposición de teoría, procedimientos algorítmicos, resolución de ejercicios, así como problemas, algunas prácticas con calculadora graficadora, algunas verificaciones así como demostraciones, en la medida en que el profesor considere que los estudiantes requieren de estas tareas.

El enfoque epistemológico (conocimiento disciplinario) del curso, debiera permitir la integración de los aprendizajes previos de aritmética, álgebra, geometría, trigonometría y geometría analítica, estructurados en los semestres llevados en la Vocacional, para que desde este nivel educativo sean recuperados, con el fin de abordar de manera significativa los conceptos esenciales de funciones, límites y derivadas, con sus diferentes técnicas, procedimientos y aplicaciones a un nivel de profundidad conceptual, que permitan el planteamiento y la resolución de problemas en contexto, que involucren a las funciones algebraicas como trascendentes, así como las derivadas de dichas funciones.

El ingeniero diseña y construye, por ello en sus inicios los dibujos, las gráficas, los diagramas eran un recurso inherente a su tarea, debemos rescatar el uso de los tres registros de representación (gráfico, tabular y analítico) dentro de la formación de ingeniero, para que el nivel de visualización que alcance le permita un ágil desarrollo de proyectos.

9. Referencias Bibliográficas

- [1] Ruiz, L. Elena Fabiola. *Indicadores teóricos para la Construcción de Conceptos del Cálculo Diferencial*. Proyecto de investigación registrado en la Secretaría de Investigación y Posgrado (SIP), del IPN con núm. de registro CGPI 20110343, México, 2011, IPN.
- [2] Plan y Programa de Estudios Cálculo Aplicado 2009 ESCOM. IPN.
- [3] Ruiz, L. Elena Fabiola. *Estrategias Didácticas en la enseñanza del Cálculo Diferencial e Integral en Ingeniería*. Reporte técnico de proyecto proyectos de investigación registrado en la Secretaría de Investigación y Posgrado (SIP), del IPN con núm. de registro CGPI 20100398, México, 2010, IPN.
- [4] Ruiz, L. Elena Fabiola. Diseño de Estrategias de Enseñanza para el concepto de variación en Áreas de Ingeniería. *Las matemáticas y la Educación*. INNOVACIÓN Vol. 9 Núm 46 2009. IPN. pp. 27-37
- [5] Mejía, A., Cruz, A y Pardo, R. M. (2007). Diseño de un instrumento de evaluación del grado de conocimientos de las ciencias básicas del alumno de nuevo ingreso a una carrera de ingeniería y su importancia en el diseño curricular. *Memorias del Segundo Congreso Internacional de la Didáctica de las matemáticas en la Ingeniería*. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Culhuacán. 2007.
- [6] Ruiz, E. F, Camarena, G y Maya, D (2009). Empleo de simulaciones como estrategia de enseñanza en situaciones de variación. *Memorias del Congreso de ESQIE*. IPN. México.
- [7] Hitt F. (2002a) *Funciones en Contexto*. México: Pearson Educación (Prentice Hall).
- [8] Hitt F. (2003) *The role of the external representations in the constructions of mathematical concepts*. L'educazione Matematica. Italia.
- [9] Hitt F. (Editor, 2002b) *Representations and Mathematics Visualization*. International Group for the Psychology of Mathematics Education North American Chapter and Cinvestav-IPN. México.
- [10]. Arcavi A. & Hadas N. (2002) Computer mediated learning: an example of an approach. In F. Hitt (Editor), *Representations and Mathematics Visualization*. International Group for the Psychology of Mathematics Education North American Chapter and Cinvestav-IPN. México.
- [11] Duval R. (1998) Registros de representación semiótica y funcionamiento cognitivo del pensamiento. En: *Investigaciones en Matemática Educativa II* (Editor F. Hitt). Grupo Editorial Iberoamérica. Traducción de: Registres de Répresentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, Vol. 5 (1993)."

Instrucciones para los autores

Los artículos que se someten a **RISCE** deben contener resultados inéditos y originales, no haber sido publicados con anterioridad ni haber sido sometidos simultáneamente a otra revista científica. Si el artículo ha sido presentado, sometido o publicado en alguna otra parte, deberá informarse al coordinador editorial. Los artículos deben ajustarse a las siguientes especificaciones:

- Idioma Inglés (anexar un resumen y palabras clave en español)
- Idioma Español (anexar un resumen y palabras clave en Inglés)
- Procesador de texto admitido: MS-Word.
- Tamaño de página: carta, utilizar un solo lado de la hoja. Máximo 10 páginas.
- Márgenes: izquierdo 2.5 cm y derecho 2 cm., superior 2.5 cm e inferior 2.5 cm.
- Autores: primer nombre seguido de los dos apellidos (sin abreviaturas), abajo: afiliación y e-mail.
- Tipo de letra del texto regular: Times o Times New Roman de 10 pt (título original 22 pt; secciones 11.5 pt, subsecciones 11.5 pt, en negritas).
- Texto: a una columna y con espaciado sencillo (renglón seguido).
- Resumen/Abstract: entre 70 y 150 palabras, colocado al principio del texto, seguido del de Español o inglés según sea el caso.
- Palabras clave/Keywords: colocadas después del resumen en negritas, y no más de 10.
- Imágenes y fotografías: deben ser de alta calidad, con colores bien definidos y contrastantes, en mapa de bits (no sectorizadas) en formato JPG e incrustadas en el texto de forma que se puedan manipular independiente.
- Fórmulas: Deberán de presentarse en formato de tabla sin bordes, centradas y la numeración de c/u justificada a la derecha con negritas en mapa de bits, no vectorizadas.
- Pies de figura. Deben mencionarse dentro del texto y numerarse de manera consecutiva con un tipo de letra Times New Roman 9 puntos
- Cabecera de tabla. Deberá presentarse en la parte superior de la tabla un numeración consecutiva y descripción con tipo de letra Times New Roman 9
- Referencias:

En cualquier caso el nombre del autor del artículo o publicación web deberá mostrarse al principio. Deberán ordenarse conforme aparezcan dentro del texto encerradas entre paréntesis cuadrado —[]—. A continuación algunos ejemplos:

- [1]. Baldonado, M., Chang, C.-C.K., Gravano, L., Paepcke, A.: The Stanford Digital Library Metadata Architecture. *Int. J. Digit. Libr.* 1 (1997) 108–121
- [2]. Bruce, K.B., Cardelli, L., Pierce, B.C.: Comparing Object Encodings. In: Abadi, M., Ito, T. (eds.): *Theoretical Aspects of Computer Software. Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 1281. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York (1997) 415–438
- [3]. van Leeuwen, J. (ed.): *Computer Science Today. Recent Trends and Developments. Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 1000. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York (1995)
- [4]. Michalewicz, Z.: *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*. 3rd edn. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York (1996)

Instrucciones:

Enviar el archivo en extenso a la siguiente dirección electrónica: ebustosf@gmail.com

Los revisores técnicos le harán llegar sus observaciones y modificaciones, las cuales deberá realizar y reenviar el archivo corregido al correo arriba mencionado.

El comité editorial se comunicara mediante correo electrónico indicándole la aceptación o rechazo del artículo.

Se le solicitará autorización para publicación; en caso de aceptar se le indica la cuenta donde debe hacer el depósito por cobro de publicación y el costo, el cual no debe exceder de \$1000.00 pesos mexicanos.

Reserva de Derechos 04-2008-062613190500-203