

**2ND INTERNATIONAL
SYMPOSIUM ON INTELLIGENT
COMPUTING SYSTEMS**

ISICS 2018



2nd International Symposium on Intelligent Computing Systems ISICS 2018



Memorias en Extenso Sección Posters

2nd International Symposium on Intelligent Computing Systems ISICS 2018

Prefacio

Promover la investigación, educación y práctica en el campo de la inteligencia artificial (IA), incluida la visión por computadora y el procesamiento de imágenes, así como la colaboración entre todas las instituciones de educación superior es parte del objetivo del presente simposio, en donde una parte fundamental de esta idea son los estudiantes, los cuales a través de sus trabajos permiten ir fortaleciendo, impulsando y refrescando el quehacer científico en el sureste del país. El simposio está organizado y respaldado por cuatro instituciones mexicanas reconocidas, la Universidad Autónoma de Yucatán, el Centro de Investigación en Matemáticas, el Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, y la Universidad Politécnica de Yucatán.

Lo que deja claro que la colaboración es posible, el impulso de ciencias como la IA es viable ya que se cuenta con material fértil, como son los alumnos que reflejan ese impulso mediante los trabajos aquí presentados, dando realce, continuidad y fortaleza a un esfuerzo conjunto por posicionar a la Ciudad de Mérida como un polo educativo de importancia para el desarrollo científico, en el sureste de México.

El comité organizador y el comité de la sección de poster agradecen a cada uno de los autores que nos hicieron el honor de confiar en este proyecto y someter sus trabajos al 2º Simposio internacional sobre sistemas de computación inteligentes volviéndolo un espacio de interacción e intercambio de ideas, pensamientos y principalmente conocimiento humano en todas las áreas afines lo que permite fomentar la colaboración institucional entre todos los grupos participantes.

Atentamente

Dr. Bassam Ali (Universidad Autónoma de Yucatán, México)

Dr. Ricardo Legarda Saenz (Universidad Autónoma de Yucatán, México)

Dra. Anabel Martin González(Universidad Autónoma de Yucatán, México)

Dr. Israel Sánchez Domínguez (UNAM, IIMAS – Mérida, México)

Editores

Índice

PI001	A New variational model for binary classification in the supervised learning context. <i>Carlos Brito-Pacheco and Carlos Brito-Loeza.....</i>	1
PI002	Sistema de navegación de vehículos autónomos basado en Real-Time Kinematics. <i>Alex Antonio Turriza-Suarez, Arturo Espinosa-Romero and Anabel Martin-González.....</i>	7
PI003	Aplicación de un mapa auto-organizado en el análisis de series de tiempo. <i>Laura Cristina Alonzo-Canul and Erik Molino-Minero-Re.....</i>	13
PI004	Desarrollo de un entorno de simulación robótica utilizando Gazebo. <i>Carlos Acosta-Montalvo, Carlos Brito-Loeza and Arturo Espinosa-Romero.....</i>	19
PI005	Diseño de sistema de seguridad y prototipo β para un robot explorador en ambientes hostiles, por intervención bruta del control y reubicación espacial en zona segura. <i>Alejandro Lupiañez-Bellido and Israel Sánchez-Domínguez.....</i>	25
PI006	Diseño, simulación, construcción y caracterización de transductores ultrasónicos. <i>José Valladares, Paul Erick Méndez-Monroy and Israel Sánchez-Domínguez.....</i>	31

2nd International Symposium on Intelligent Computing Systems ISICS 2018

- PI007** Sistema de adquisición y registro de datos con aplicación de hidrófono.
Álvaro Callejas-Tavera and Erick Molino-Minero-Re..... 37
- PI008** Plataforma automatizada para monitoreo cardiaco en ratones.
H.A. Canul-Irigoyen, C.A. Ku-Maldonado, E. Molino-Minero-Re, N. Hevia-Montiel and A.P. Haro-Álvarez.....43
- PI009** Diseño e implementación para el control de sensores a través de un instrumento virtual con Arduino.
Jacqueline Hernández Nuñez, Paul Erick Méndez-Monroy and Israel Sánchez-Domínguez.....49
- PI010** Implementación de un sistema de reconocimiento de patrones para clasificar señales de espectro Doppler.
Ismael de J. Ávila-Uc, Nidiyare Hevia-Montiel, Erick Molino-Minero-Re and A.P. Haro Álvarez.....55
- PI011** Implementación de un clasificador mediante el análisis computacional de reconocimiento de patrones aplicado en imágenes de otolitos de dos especies distintas de peces (mero y chac chi).
Javier Luna-González, Ndiyare Hevia-Montiel, Erik Molino-Minero-Re and María del Carmen Clemente-Medina.....61
- PI012** Análisis computacional en imágenes de electroforesis unicelular en gel mediante algoritmos de segmentación automática.
Javier Luna-González, Anabel Martin-González, Carlos Brito-Loeza and Elda Pacheco-Pantoja.....67

2nd International Symposium on Intelligent Computing Systems ISICS 2018

- PI013** Clasificación de señales Doppler de ultrasonido en modelo murino con algoritmos de aprendizaje no supervisados.
Israel Borges-Chan, Nidiyare Hevia-Montiel, Erick Molino-Minero-Re and Ana Paulina Haro Álvarez.....73
- PI014** Clasificación morfométrica de tumores cerebrales primarios utilizando aprendizaje supervisado de vecinos próximos.
Ángel Carrillo-Bermejo, Nidiyare Hevia-Montiel, Anabel Martín-González and William M. Rosado Jr.....79
- PI015** Desarrollo de un sistema de visión computacional para el aterrizaje autónomo de un VANT.
Manuel Poot-Chin, Carlos Brito-Loeza and Ricardo Legarda-Saenz.....85
- PI016** Interfaz gráfica para la clasificación de señales de efecto Doppler ultrasónico a partir de algoritmos de aprendizaje supervisado y no supervisado.
J.R. Coba-Tun, J.P. González-González, N.Hevia-Montiel, E. Molino-Minero_Re and A.P. Haro-Álvarez.....91
- PI017** Análisis morfológico automático de ventrículo izquierdo empleando descriptores discretos a partir de ecocardiografía en modelo murino.
Félix Román Ehuan-Colli, Nidiyare Hevia-Montiel and Ana P. Haro-Álvarez.....97
- PI018** Generación de ortomosaicos con base en el modelo 3D de la superficie terrestre obtenido mediante un dron.
Omar Martínez-Aranda, Arturo Espinosa-Romero and Anabel Martín-González.....103

2nd International Symposium on Intelligent Computing Systems ISICS 2018

- PI019** Un modelo matemático simple del calentamiento global.
Daniel Antonio Brito-Pacheco.....109
- PI020** Estación de monitoreo para el cultivo de lenteja de agua.
Juan Negrón-Granados, Rafael Viana, Mildred González, Geenkel Coss, Rajiv González and Sergio Góngora.....115
- PI021** Quantifying empathy: Analysis of the reactions of mexicans in September earthquakes.
J. Alberto Rosales-Pérez.....121
- PI022** Preprocessing information applied to a commercial data store.
Sidney René Toledo-Martínez, Eddy Sánchez-De la Cruz, Rajesh Roshan Biswal and Gandhi Samuel Hernández-Chan.....127

A New Variational Model for Binary Classification in the Supervised Learning Context

Carlos Brito-Pacheco, and Carlos Brito-Loeza *

Universidad Autónoma de Yucatán.

Abstract. We examine the supervised learning problem in its continuous setting and give a general optimality condition through techniques of functional analysis and the calculus of variations. This enables us to solve the optimality condition for the desired function u numerically and make comparisons with other widely utilized supervised learning models.

Keywords: variational learning, supervised learning, artificial intelligence

1 Introduction

The problem of *supervised learning* arises in contexts where a study of a dependent variable Y is necessary in terms of an independent variable X . The goal of supervised learning is to predict the values of Y given many instances of the variable X . Generally, we call the instances of X and the values Y takes, the *inputs* and *outputs*.

In general, there are two main tasks in supervised learning: *classification* and *regression*. We make the distinction between these two contexts by defining classification as the *task that classifies inputs into several classes* and regression as the *task which estimates the functional relationship between two variables*. To summarize we may say that supervised learning concerns itself with the estimation of a function \hat{f} such that $Y \approx \hat{f}(X)$.

In recent years many supervised learning methods have been developed and many have been reviewed time and time again [1–3]. A recent and extremely exhaustive analysis was conducted by Fernández-Delgado *et al.* which evaluates 179 classifiers arising from 17 families on 121 datasets [1]. Support Vector Machines (SVM) and Random Forests are the top performing methods. Kotsiantis *et al.* [2] have conducted a more comprehensive review of various different classification methods in which they show that SVM and Neural Networks (NN) were the best performing algorithms in terms of accuracy, classification speed and tolerance to parity problems. These algorithms, however, are lacking in terms of speed of learning, danger of overfitting and model parameter handling where Naïve Bayes and kNN are the top contenders.

* Authors are with CLIR at Facultad de Matemáticas, Universidad Autónoma de Yucatán.. (Emails: carlosdotb@gmail.com, carlos.brito@correo.uady.mx; web: www.clir-lab.org)

2 The general variational approach

The supervised learning problem may be characterized as follows. Given a training set of N observations

$$\mathcal{T} = \{(\mathbf{x}_1, y_1), (\mathbf{x}_2, y_2), \dots, (\mathbf{x}_N, y_N) \mid \mathbf{x}_i \in \Omega, y_i \in \mathcal{Y}\}, \quad (1)$$

we would like to find a function $u = u(\mathbf{x})$ defined by $u : \Omega \rightarrow \mathcal{Y}$. In order to find a suitable function u it is necessary to suggest a suitable model which best describes the problem. The most widely used framework to solve the supervised learning problem is the minimization of the sum of a loss function $L(u, y)$ with an added regularization term $R(u) > 0$ which in the continuous case is given by

$$\min_u \int_{\Omega} [L(u, y) + \lambda R(u)] d\mathbf{x}. \quad (2)$$

where $\lambda > 0$.

Akin to *differential calculus*, we aim to “differentiate” the expression in Equation 2 with respect to u .

Here, we recall from functional analysis that if we find the functional derivative and equate to zero $\delta F / \delta u(\mathbf{x}) = 0$, we obtain the *optimality condition*. To this end, let f be a function of the form $f(\mathbf{x}, u(\mathbf{x}), \nabla u(\mathbf{x})) = L(\mathbf{x}, u(\mathbf{x})) + \lambda R(\mathbf{x}, u(\mathbf{x}), \nabla u(\mathbf{x}))$, with y fixed *s.t.* $L(u) = L(u, y)$. Furthermore, let $F[u] = \int_{\Omega} f(\mathbf{x}, u(\mathbf{x}), \nabla u(\mathbf{x})) d\mathbf{x}$. Then, the functional derivative with respect to u is given by the PDE Euler-Lagrange Equation

$$\frac{dL}{du} + \lambda \left(\frac{dR}{du} - \nabla \cdot \frac{\partial R}{\partial \nabla u} \right) = 0. \quad (3)$$

To approximate u , we use a Gaussian radial basis function (RBF) approximation with

$$u(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^N w_i \phi(\mathbf{x}_i), \quad (4)$$

where $\{\phi_i(\mathbf{x})\}$ will be a set of Gaussian RBF kernels given by $\phi_i(\mathbf{x}) = e^{-c\|\mathbf{x}-\mathbf{x}_i\|^2}$. We say that the $\{\mathbf{x}_i\}$ are the observations of the input variable X . In addition, $c > 0$ is a constant that we are free to choose, while $\|\cdot\|$ is the Euclidean norm. We call c the *fitting degree* of our model.

3 The new model

To find an appropriate loss for classification, we take a Bernoulli variable $Y \in \{0, 1\}$. Our goal is then to predict the target class y given an input $u(\mathbf{x}, \mathbf{w})$, where \mathbf{w} is a vector parameter which u depends on. To derive the loss function, we choose to maximize the likelihood that, given parameters \mathbf{w} , the model results in a prediction of the correct class for each input sample with the likelihood

being a function of the parameters. In fact it is the minimization of the *cross-entropy* [4] (also called *negative log-likelihood*) that effectively maximizes the likelihood. This function is given by:

$$L(\sigma(u), y) = -[y \ln \sigma(u) + (1 - y) \ln (1 - \sigma(u))]. \quad (5)$$

We outline that σ gives us the probability of classifying an input u as $y = 1$. To effectively “binarize” the output one must define a prediction rule g , for example, as $g = 1$ on $\sigma(u) \geq 0.5$ and $g = 0$ on $\sigma(u) < 0.5$.

We are now tasked with the choice of a regularizer term $S(u)$. Much work has been done in the past to find a good regularizer and there is no clear best choice. In the recent work on this area, Belkin *et al.* [5] have proposed the square of the gradient vector norm, so that:

$$S(u) = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \|\nabla u\|^2 d\mathbf{x}, \quad (6)$$

for which $R(u, \nabla u) = \|\nabla u\|^2$. One way to interpret this choice of regularization term is to regard $u(\mathbf{x})$ as a scalar field and to notice that taking the norm of a vector is interpreted as calculating its magnitude. Thus, this choice minimizes the slope of the gradient points in the direction of the greatest rate of increase. Therefore, it will prevent sharp edges and, in part, will ensure that u^* be smooth and reduce overfitting. Equations 5 and 6 are convex and thus there is a unique solution u^* to our problem.

Thus, our proposed model is as follows. Let $u : \Omega \subset \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}$ be the function we want to fit and let $y \in \{0, 1\}$ be the target values. Let $\sigma(u)$ be the probability that an input $u = u(\mathbf{x})$ is classified as $y = 1$. Let $F[u]$ be a functional depending on u , defined by

$$F[u] = \int_{\Omega} [-[y \ln \sigma(u) + (1 - y) \ln (1 - \sigma(u))] + \lambda \|\nabla u\|^2] d\mathbf{x}. \quad (7)$$

Then the condition of optimality is the elliptic PDE

$$\sigma(u) - y - \lambda \Delta u = 0. \quad (8)$$

Recalling that $u = u(\mathbf{x})$ depends on a fixed weight vector \mathbf{w} and can be expressed by the sum of the set of RBFs $\{\phi_i(\mathbf{x})\}$, it is required to find the weight vector \mathbf{w}^* which appropriately satisfies Equation 8. We achieve this by solving the following least squares problem by the Levenberg-Marquardt [6]; a widely used numerical algorithm used to solve non-linear least squares problems [7].

$$\mathbf{w}^* = \arg \min_{\mathbf{w}} \sum_{i=1}^N [y_i + \Delta u(\mathbf{x}_i, \mathbf{w}) - \sigma(u(\mathbf{x}_i, \mathbf{w}))]^2. \quad (9)$$

4 Results and Analysis

We tested our model against 9 binary datasets. For each dataset we calculated two metrics: Accuracy and Area under the ROC curve (AUC) [8]. Both of the

metrics are calculated over the test set in a *5-fold* cross validation scheme. We have centered to 0 mean and unit variance the features of each dataset. That is, we have *standardized* the dataset. Notably, no dimensionality reduction has been applied.

When training the models, it is necessary to specify the parameters in which they depend on. For our model (LR) we have to choose a parameter triplet (c, λ, η) ; where η is a dampening LM parameter. For a *RBF-kernel* SVM, we choose the parameter pair (C, γ) ; C is the penalty parameter of the error term while γ is the kernel coefficient. Lastly, we assume that NN is a *multi-layer perceptron* with one hidden layer of 100 nodes which depends on a regularization term α . Both SVM and NN are implementations of the Python library `sklearn` [9] while we have implemented the LR method ¹. The parameters for each of our models were chosen by the following methodology: for LR, $c \in (0, 5)$, $\lambda \in [0, 10]$ with step = $\ln 2$, and $\eta = 1$; for SVM, $C \in (0, 5)$ and $\gamma = 1/m$, where m is the number of features of the dataset; for NN, α was fixed to $\alpha = 0.001$.

Table 1. The accuracy (%) of each method is outlined in this table.

Data	Dim	N	LR	SVM	NN	Place	Dist.
Australian	14	690	86.6667	86.8116	87.8261	3rd	1.1594
Blood Transf.	4	748	78.2246	78.2237	77.2859	1st	0.0
Breast Cancer	30	569	97.7146	98.7425	98.2673	3rd	1.0279
Bupa	6	345	72.4638	72.4638	71.0145	1st	0.0
German	24	1000	76.0000	76.6000	78.3000	3rd	2.3
Haberman	3	306	73.5431	73.8710	74.5267	3rd	0.9836
Heart	13	270	82.2222	84.8741	84.0148	3rd	2.6519
Sonar	60	208	88.4321	88.9199	87.4681	2nd	0.4878
Vertebral Col.	6	310	86.7742	85.4839	83.8710	1st	0.0
						Average distance from 1st:	0.9567

To understand more easily the performance of the methods, we have arranged the results into two tables. In Table 1, we present the results for accuracy. The second to last column indicates which ranking (1st, 2nd or 3rd) LR obtained; higher is better. On the other hand, the last column indicates the absolute value of the residual between LR and the 1st place. In bold, the best accuracy. It can be seen that LR outperformed SVM and NN on 3 datasets.

To fully grasp how much better or worse our method has performed we calculated the absolute value of the residual between LR and the top performer for each dataset. On average we see that our method was down by 0.9567 %. Although not shown in Table 1, the average distance from the top performer for SVM is 0.5229 % and for NN it is 0.8975 %. Interpreting the results, we

¹ The implementations for the LR model, benchmarking scripts and datasets may all be found at <https://github.com/carlosb/thesis>

can confidently say that **SVM is the best method, while NN is second and LR comes a close third in terms of accuracy**. These scores lend to the interpretation of “which method got closer to the real solution”. Looking at who got the top score we might say that the top performer was the best *method suited for that particular type of dataset*.

Table 2. The AUC of each method is outlined in this table

Data	LR	SVM	NN	Place	Dist.
Australian	0.8643 (B)	0.8701(B)	0.8777 (B)	3rd	0.0134
Blood Transf.	0.5844 (F)	0.6144 (D)	0.5502 (F)	2nd	0.03
Breast Cancer	0.9729 (A)	0.9800 (A)	0.9858 (A)	3rd	0.0129
Bupa	0.7024 (C)	0.7059 (C)	0.6866 (D)	2nd	0.0035
German	0.6821 (D)	0.6920 (D)	0.7058 (C)	3rd	0.0237
Haberman	0.5560 (F)	0.5559 (F)	0.5463 (F)	1st	0.0
Heart	0.8180 (B)	0.8452 (B)	0.8322 (B)	3rd	0.0142
Sonar	0.8857 (B)	0.8906 (B)	0.8812 (B)	2nd	0.0049
Vertebral Col.	0.8292 (B)	0.8404 (B)	0.7978 (C)	2nd	0.0112
Average distance from 1st:					0.0126

The AUC score may also be used to further determine the performance of a classifier [10]. We proceed in a similar manner as before. Results are presented in Table 2, where the last column indicates the absolute value of the residual between LR and the 1st place. In bold, the best AUC. We find that LR is on average down from 0.0126 units from the top performer for each dataset. The same is calculated for SVM and NN; respectively 0.0088 and 0.0161. Surprisingly, even though NN outperformed SVM and LR on 4 different datasets while LR only outperformed the others on one, **on average LR will perform better than NN**. Unsurprisingly, SVM will still perform better than NN and LR.

It is now time to present a more intuitive and *robust* analysis based on the AUC. The analysis consists in assigning a “grade” to a classifier by specifying the following grading scheme: Excellent (A) $0.9 \leq \text{AUC} \leq 1$; Good (B) $0.8 \leq \text{AUC} < 0.9$; Fair (C) $0.7 \leq \text{AUC} < 0.8$; Poor (D) $0.6 \leq \text{AUC} < 0.7$; Fail (F) $0.5 \leq \text{AUC} < 0.6$. The “robustness” comes from the fact that small variations within the 5 sub-intervals of $[0.5, 1]$ in should be neglected. Looking at Table 2 we see that each of the AUC scores has a letter assigned to it. This is interpreted as the grade which the method received on that particular dataset. In order to obtain then a quantitative measure, we may assign each grade a value. Namely, $A = 1, B = 2, \dots, F = 5$. Then, we can calculate a weighted final grade for our classifiers and see how each of them performed. Clearly a lower grade is better. Following this process, the weighted grades of each method are: $\text{LR} = 26$, $\text{SVM} = 25$ and $\text{NN} = 29$. Immediately, we see that SVM once again obtained the best score. This time, however, LR came a close second with only a 1 point difference. On the contrary NN was down by 4 points from SVM and 3 points

from LR. Summarizing, **LR outperforms again NN while SVM remains the best overall method**. Finally, we calculate the average time it took to train each algorithm. Namely, LR = 6.03s, NN = 0.39s, and SVM = 0.01s. We hypothesize LR's long times are due to two things: various optimizations used in the `sklearn` implementations, and the second being the fact that we do not utilize *array broadcasting* in all the parts of our code.

5 Conclusion

Even though supervised learning has had tremendous advances in the last few years, it remains clear that a lot of work has yet to be done. As part of our contribution to the field, we have designed and implemented a new variational model for binary classification. Opting to attack the supervised learning problem by functional and variational means, we arrived at the LR model and gave each of its components interpretations. The results obtained for SVM clearly indicated that it was the superior method amongst the three, the focus quickly shifted to the comparison between NN and LR. It was soon found that LR outperformed NN in two, out of three, benchmarks. Without a doubt, this variational approach looks to be very promising and must be explored further in future work.

References

1. Fernández-Delgado, Manuel, et al. "Do we need hundreds of classifiers to solve real world classification problems." *J. Mach. Learn. Res* 15.1 (2014): 3133-3181.
2. Kotsiantis, Sotiris B., I. Zaharakis, and P. Pintelas. "Supervised machine learning: A review of classification techniques." (2007): 3-24.
3. Caruana, Rich, and Alexandru Niculescu-Mizil. "An empirical comparison of supervised learning algorithms." *Proceedings of the 23rd international conference on Machine learning*. ACM, 2006.
4. Shore, John, and Rodney Johnson. "Axiomatic derivation of the principle of maximum entropy and the principle of minimum cross-entropy." *IEEE Transactions on information theory* 26.1 (1980): 26-37.
5. Belkin, Mikhail, Partha Niyogi, and Vikas Sindhwani. "Manifold regularization: A geometric framework for learning from labeled and unlabeled examples." *Journal of machine learning research* 7.Nov (2006): 2399-2434.
6. Moré, Jorge J. "The Levenberg-Marquardt algorithm: implementation and theory." *Numerical analysis*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1978. 105-116.
7. Press, William H., et al. *Numerical recipes in C*. Vol. 2. Cambridge: Cambridge university press, 1996.
8. Hanley, James A., and Barbara J. McNeil. "The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve." *Radiology* 143.1 (1982): 29-36.
9. Pedregosa, Fabian, et al. "Scikit-learn: Machine learning in Python." *Journal of Machine Learning Research* 12.Oct (2011): 2825-2830.
10. Fawcett, Tom. "An introduction to ROC analysis." *Pattern recognition letters* 27.8 (2006): 861-874.

Sistema de navegación de vehículos autónomos basado en Real-Time Kinematics

Alex Antonio Turriza-Suarez, Arturo Espinosa-Romero, and Anabel
Martin-Gonzalez

Universidad Autónoma de Yucatán. Anillo Periférico Norte, Tablaje Cat. 13615,
Colonia Chuburná Hidalgo Inn, Mérida Yucatán.

turriza.alex@gmail.com

Resumen El posicionamiento satelital mediante el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), usado en gran cantidad de dispositivos para determinar su posición en la Tierra, suele verse afectado por múltiples factores que tienen como consecuencia errores de medición en la escala de metros. En este artículo se presenta el diseño e implementación de un sistema de navegación en tiempo real, basado en la técnica Real-Time Kinematics, que incrementa la precisión de la ubicación de vehículos aéreos no tripulados en el orden de centímetros, facilitando, de esta manera, el control del posicionamiento de los mismos.

Keywords: GPS · Real-Time Kinematics · Control autónomo · Vehículo autónomo.

1. Introducción

A pesar del avance de la tecnología en las herramientas de posicionamiento, aún persisten algunos errores en su precisión, que de forma práctica, afectan el desempeño de los sistemas que las utilizan. Los dispositivos que utilizan el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para determinar su posición geográfica reciben un error de precisión de $\pm 12 m$. Dicha precisión representa un problema de impracticidad para ubicar sistemas basados solamente en GPS.

En [2], se usa un sistema GPS para apoyar la logística de distribución de farmacéuticos, con capacidad de obtener los datos de localización, tiempo y velocidad de desplazamiento de un vehículo. Sin embargo, dado el error de precisión del GPS, el sistema tenderá a indicar rutas imprecisas.

En [5], menciona la implementación de un sistema de navegación inercial INS/GPS para un dron. La posición de este sistema es estimada con un error de $2 m$ con un 95% de confianza, además de otros datos para asistir al vuelo como velocidad y su altitud. Una incertidumbre de $2 m$ hace inviable que un dron pudiese mantenerse en una posición estática.

En [4] afirman que las coordenadas recibidas de un dispositivo GPS solamente son usadas como aproximación a la posición del vehículo, y nunca como un dato sólido que sirviese al computar datos, dada la exactitud mínima de $10 m$.

Mencionan limitantes tales como el peso total de la carga del drone y el consumo de energía causado por la integración de todos los demás sensores, de donde el GPS aporta entonces una cantidad mínima de información y utilidad en general.

Dado que los trabajos previos presentan inconvenientes con la precisión del sistema de navegación de los dispositivos debido a la naturaleza del sensor GPS, se propone la implementación de un sistema de navegación a partir de dos señales de GPS, en un sistema portátil de arquitectura ARM (Advanced RISC Machine) que reduce el error a una escala medible en centímetros.

El objetivo de este trabajo es el diseño y la implementación de un sistema de navegación para dispositivos pequeños y portátiles capaz de conocer su ubicación en un entorno geográfico con una alta precisión.

2. Metodología

El sistema de navegación propuesto se compone de dos estaciones de trabajo: una estación base, fija en una posición conocida, y una estación móvil (Rover) en el dispositivo a rastrear cerca de la estación base (ver Figura 1). El sistema requiere de los siguientes dispositivos: dos tarjetas de evaluación GPS, una unidad central de procesamiento (CPU, por sus siglas en inglés), dos radiotransmisores, biblioteca RTKLIB¹ como software de apoyo.

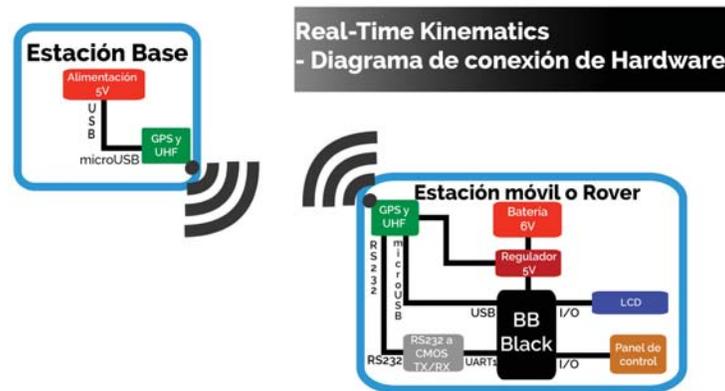


Figura 1. Arquitectura del sistema propuesto.

Los componentes con que cuenta el Rover son: una unidad principal de procesamiento, la BeagleBone Black (desarrollada por la BeagleBone Foundation), que posee una arquitectura ARM, que posee soporte de varias distribuciones Linux; un convertidor RS232 a serial CMOS, necesario para que la BeagleBone Black reciba datos de forma serial; una placa de botones, diseñada para el manejo de eventos durante el recorrido; una Pantalla LCD, utilizada para desplegar

¹ <http://www.rtklib.com/>

información del software; un regulador de voltaje, utilizado para evitar el daño de dispositivos electrónicos delicados por variaciones de voltaje; una batería de +6 V, utilizada para alimentar todo el sistema; una placa de distribución de energía, utilizada como el punto a partir de donde se distribuyen los cables de alimentación de los componentes; una tarjeta de evaluación GPS, que cuenta con un GPS Ublox Neo M8P y una interfaz de comunicación inalámbrica para comunicarse con una tarjeta gemela en la estación base.

La estación base cuenta con una tarjeta de evaluación GPS que incorpora también un módulo de comunicación inalámbrica, además de una batería de alimentación. La estación móvil o Rover cuenta con una BeagleBone Black como computadora de vuelo, una tarjeta de evaluación de GPS igual a la encontrada en la estación base, y diferentes periféricos (ejemplo: pantalla LCD).

2.1. Real-Time Kinematics

Un GPS es un sistema de geolocalización que calcula la posición de un punto cualquiera en un espacio de coordenadas (x,y,z) .

Se le llama Sistema de Navegación Cinética Satelital en Tiempo Real (RTK, por sus siglas en inglés), a la corrección de la señal GPS basada en las portadoras de datos de navegación L1 (1575.42 MHz) y L2 (1227.60 MHz).



Figura 2. Corrección RTK.

En un sistema RTK (ver Figura 2), se cuenta con dos receptores de señal GPS (estación base y móvil) en una misma área. Debido a su proximidad teórica, se asume que ambos receptores tienen el mismo rango de error de precisión de posicionamiento GPS. Si la posición exacta de la estación base es conocida, ésta puede ser usada para determinar el error asociado a las lecturas de dicho receptor y después aplicar la corrección a la posición de la estación móvil (Rover) [3].

Exclusivamente en el modo Real-Time Kinematics, en cada muestra, existe un parámetro, denominado Ratio, que indica la calidad de la señal de los satélites

y de las mediciones del GPS en el Rover, de forma proporcional. Mientras más alto sea el valor de Ratio, mejor será la corrección de la señal de GPS.

Cuando el sistema de navegación recién inicia con la observación de satélites, el valor de Ratio suele ser bajo ($\text{Ratio} < 3$). Conforme el tiempo avanza, el valor de Ratio incrementa debido a una mayor y más estable captación de satélites.

Con todas las correcciones, se alcanza una precisión de menos de 10 *cm* [1]. Conforme el receptor móvil se aleja gradualmente de la estación base, disminuye la utilidad de las correcciones proporcionadas.

2.2. Experimento de evaluación

Para evaluar la precisión del sistema de navegación basado en RTK, se delimitó un perímetro cuadrado con medidas conocidas en una determinada área libre de interferencias para lecturas de GPS más precisas (ver Figura 3a).

El perímetro cuadrado de 15 *m* por lado se dividió en un total de 20 segmentos de 3 *m* de longitud. Las marcas de separación de segmentos fueron puntos de medición para evaluar el desempeño del sistema propuesto.

Para fines de comparación de datos y contraste de resultados, se realizaron muestreos de las 20 marcas de segmentos en el perímetro cuadrangular definido (ver Figura 3b). Se efectuaron dos recorridos consecutivos al perímetro (20 muestreos cada uno) utilizando el sistema de navegación con Real-Time Kinematics (modo RTK), y otros dos recorridos consecutivos sin RTK (modo Single).

3. Resultados

Una vez delimitado el perímetro para muestreo, se establecieron las coordenadas de latitud, longitud y altitud de la estación base en un punto cercano al perímetro con la ayuda de la aplicación Google Maps.

En los muestreos en modo Single existe una cantidad considerable de saltos erráticos entre los puntos, donde no se asocia fácilmente qué muestra corresponde a qué marca de segmento del cuadrado. Asimismo, del lado derecho, presenta saltos, donde se pierde el seguimiento de línea recta, causado probablemente por la cercanía de árboles. En contraste, el modo RTK muestra una mayor precisión de localización de marcas de segmentos donde fueron tomadas las muestras, así como no se observan saltos, como muestran las Figuras 3c y 3d.

Los muestreos del segundo recorrido en modo RTK presentan el valor de Ratio más alto. A las muestras correspondientes a un lado recto del perímetro delimitado se les aplicó regresión lineal para verificar su cercanía a una línea recta. El coeficiente de correlación R^2 fue de 0.997, indicando un alto ajuste de las muestras a una línea recta. El Ratio de las muestras del primer recorrido en modo RTK tuvieron valores bajos, y a pesar de ello, las muestras se mantienen muy próximas a la línea recta obtenida con los valores del segundo recorrido. Los muestreos en modo Single presentan una tendencia por mediciones erróneas (fuera de la línea recta). El desempeño del modo Single en un drone generaría trayectorias erráticas.

La tabla 1 presenta los resultados de error de posición y altura en cada segmento con ambas modalidades, donde AVG, SD y MED representan promedio,

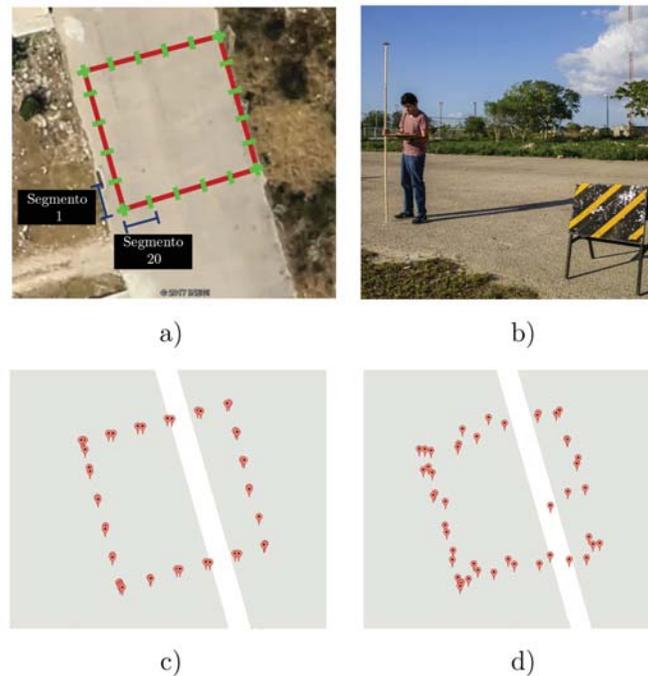


Figura 3. Experimentación: a) perímetro cuadrado delimitado en un terreno para tomar mediciones, b) ejemplo de toma muestreo con estación móvil, c) Resultado de muestreo en modo RTK, d) Resultado de muestreo en modo Single

desviación estándar y mediana, respectivamente. El error por segmento se calcula restando la distancia medida a los tres metros nominales que debe medir cada segmento.

Para analizar la precisión de altitud de nuestro sistema de navegación, se observaron dichos valores obtenidos en ambos modos a lo largo de los recorridos (ver Figura 4). Dado que la altitud de la zona delimitada es de aproximadamente 5 m sobre el nivel del mar y la altura de la antena del Rover se encontró a 3 m sobre el piso, la altitud debió estar alrededor de los 8 m . El modo Real-Time Kinematics demuestra una mejor estabilidad y consistencia de datos.

4. Conclusiones

En este artículo se presentó el diseño e implementación de un sistema de navegación basado en Real-Time Kinematics, para obtener información de posicionamiento de un vehículo con una precisión mayor a la adquirida por GPS modo Single. Los resultados en modo RTK fueron satisfactorios dado que en términos de coordenadas, se notó una mayor estabilidad y mejor ajuste que en el modo Single, donde se obtuvieron mediciones erráticas causadas por el mismo sistema de GPS. En términos de medición de altitud del sistema RTK,

<i>Error por segmento</i>	RTK	Single
Error por segmento (AVG)	0.0888m	0.752m
Error por segmento (SD)	$\pm 0.79m$	$\pm 0.60m$
Error por segmento (MED)	0.068m	0.74m
Altitud (AVG)	8.68m	-5.50m
Altitud (SD)	$\pm 0.15m$	$\pm 1.15m$
Altitud (MED)	8.80m	-5.47m

Tabla 1. Resultados de desempeño por segmento



Figura 4. Comparación de medición de altitud (altitud de la antena del Rover) en cada segmento muestreado.

se observó una mayor aproximación a un valor constante que en el modo Single, que marcaba incluso datos negativos.

Referencias

1. Cerrato Miranda, J.: Diseño e implementación de una aplicación visual para el control de flotas basado en GPS. Master's thesis, Universidad Carlos III de Madrid (2011)
2. De la Cruz Bautista, V., Luna Vazquez, M.d.R., Navarro Tapia, T., Robles Valdez, E.O., Ramírez Arguelles, M.A.: Diseño de una estrategia logística de rutas para la distribución de productos farmacéuticos. Master's thesis, Instituto Politécnico Nacional de México (2011)
3. Fallas, J.: Sistema de posicionamiento global. Tech. rep., Universidad Nacional, Laboratorio de teledetección y sistemas de información geográfica. Escuela de Ciencias Ambientales y Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre. Costa Rica (2002)
4. Maldonado Hidalgo, D.A., Ramírez Acosta, C.F., Villarreal Quintero, M.E.: Controlador de posición para un vehículo aéreo de 4 rotores realimentado por GPS. Master's thesis, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia (2010)
5. Rönnbäck, S.: Development of a INS/GPS navigation loop for an UAV. Master's thesis, Lulea Tekniska Universitet (2000)

Aplicación de un Mapa Autoorganizado en el Análisis de Series de Tiempo

Laura Cristina Alonzo-Canul¹ y Erik Molino-Minero-Re²

¹ Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, YUC, 97000, MX

² Universidad Nacional Autónoma de México, Sierra Papacal – Chuburná, YUC, 97302, MX

laura.alonzoc@gmail.com

erik.molino@iimas.unam.mx

Sumario. El agrupamiento es una de las técnicas más útiles en la clasificación de datos, especialmente si estos se presentan en grandes volúmenes o son generados por diversas fuentes de forma masiva y no existe un conocimiento previo de los grupos o clases que representan. Más aún, los algoritmos que utilizan este tipo de técnicas, permiten reconocer patrones en los grupos resultantes y extraer información valiosa de ellos que, de otro modo, sería difícil de percibir mediante inspecciones humanas. Este trabajo expondrá los esfuerzos realizados en la construcción de una herramienta computacional que utiliza un tipo de red neuronal artificial de aprendizaje no supervisado, conocida como mapa autoorganizado y aterrizará su uso en el reconocimiento y análisis de patrones surgidos de la clasificación de series de tiempo de origen sísmico para su caracterización.

Palabras clave: Agrupamiento, Aprendizaje No Supervisado, Mapa Autoorganizado.

1 Introducción

El agrupamiento, como técnica de minería de datos, busca realizar una clasificación de los mismos, sin tener un conocimiento avanzado de las definiciones que estos grupos o clases resultantes puedan tener [1]. En el pasado, las limitadas capacidades de procesamiento y almacenamiento de los equipos de cómputo constituían un impedimento para la evaluación y mejoramiento de sistemas que utilizaban este tipo de técnicas, especialmente cuando los conjuntos de datos eran demasiado grandes, puesto que su manipulación derivaba un proceso continuo y computacionalmente costoso de acceso, recuperación y almacenamiento desde discos duros hasta otras fuentes de almacenamiento externas. Sin embargo, las nuevas generaciones de procesadores y mayores capacidades de memoria interna y externa, han vuelto el procesar y almacenar grandes conjuntos de datos una tarea más sencilla y el manipularlos un problema que es posible abordar esperando resultados en un tiempo mucho más corto.

Debido a esto, muchos sistemas ahora almacenan sus datos como series de tiempo. Una serie de tiempo es una secuencia de elementos tomados de forma sucesiva, con valores en el dominio real y que cambian como función del tiempo. En la mayoría de los casos, estos elementos son tomados en periodos equidistantes de tiempo y el valor

o los valores de cada punto en una serie, consisten de una o más observaciones tomadas cronológicamente, razón por la cual, de manera natural, los datos almacenados en este formato son dimensionalmente grandes y largos en tamaño.

Utilizar algoritmos de agrupamiento en bases de datos compuestas de series de tiempo es particularmente ventajoso, ya que permite descubrir información valiosa que puede ser obtenida mediante reconocimiento de patrones [2]. El trabajo que se presenta a continuación, propone el uso de un mapa autoorganizado [3] como algoritmo de red neuronal para la clasificación y caracterización de señales sísmicas obtenidas mediante un método conocido como sísmica de reflexión [4].

2 Problema

La sismología o sísmica de reflexión, es un método de exploración geofísica que intenta estimar las propiedades del subsuelo a partir de la información extraída de ondas sísmicas reflejadas [5]. Estas ondas son el resultado de impulsos generados mediante disparos o explosiones controladas en la superficie, donde parte de la energía es reflejada mientras que la otra es propagada en la profundidad del subsuelo. Debido al cambio de material entre las capas, la energía que retorna trae consigo una serie de ecos u ondas de reflexión, denominadas señales sísmicas, que son captadas por una red de sensores compuesta de geófonos triaxiales que registran el ruido sísmico natural de manera que puede conocerse el movimiento del subsuelo en tres dimensiones ortogonales.

La onda reflejada tiene una forma muy particular según los materiales presentes donde se origina esta reflexión (depende en gran medida del tipo y porosidad de roca, así como del fluido presente), esta forma es conocida por los expertos en la rama como firma sísmica. Para el ojo humano, firmas pertenecientes a diversas áreas sísmicas son muy parecidas y tanto distinguirlas como localizarlas en un mapa sísmico de forma manual genera un trabajo complejo y exhaustivo para geólogos y geofísicos.

Esta investigación se concentra en el aprovechamiento de herramientas tales como algoritmos matemáticos y métodos computacionales, para la automatización de dichas tareas mediante un sistema óptimo que permita identificar y clasificar firmas sísmicas con las mismas características y cuyos resultados puedan ser utilizados por los expertos en la realización de un mapeo más acertado de la litología del subsuelo.

3 Objetivos

El sistema desarrollado como parte de esta investigación tiene los siguientes objetivos:

- a. Organizar los datos sísmicos de manera que puedan ser creadas subsecciones de las señales con base en su información geométrica y al atributo de amplitud.
- b. Desarrollar una herramienta capaz de clasificar estas subsecciones para identificar la firma en los reflejos sísmicos.

- c. Organizar los resultados de la clasificación para crear una imagen sísmica del área estudiada que sirva de apoyo al geofísico en el análisis e identificación de la litología.

4 Datos

4.1 Señales Sísmicas

Como se menciona en el apartado 2, en la sísmica de reflexión, los geófonos triaxiales (combinación de tres geófonos mutuamente ortogonales, cada uno destinado a la lectura correspondiente al eje horizontal, vertical o transversal) que integran la red, registran el movimiento del suelo como una medida de la propagación de la onda en respuesta a los impulsos y lo convierten en señales sísmicas. Luego, estas señales individuales o trazas sísmicas son organizadas una detrás de la otra formando conjuntos, donde cada uno está asociado a un punto en el espacio de la superficie.

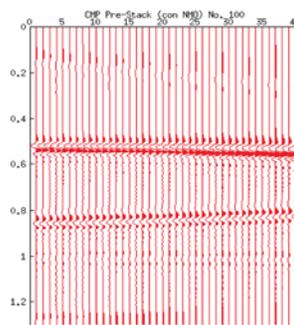


Figura 1. Conjunto de trazas sísmicas asociadas a un punto en la superficie.

4.2 Descripción de la Base de Datos

La base de datos consiste en una matriz de tamaño 326 x 102, correspondiente a 102 trazas sísmicas (1 traza = 1 x 326).

Los datos utilizados para el desarrollo y pruebas de este sistema fueron creados en el laboratorio de forma artificial, siguiendo la estructura de conjuntos de trazas originales pertenecientes a secciones sísmicas ya estudiadas. El uso de datos artificiales es conveniente debido a dos circunstancias: la primera, que la complejidad de los datos sísmicos obtenidos directamente del campo es alta (su estructuración y refinamiento constituyen un procedimiento adyacente, relacionado con la temática de estudio, pero ajeno a los objetivos de esta herramienta); y la segunda, que la aplicación del método sobre conjuntos de datos correspondientes a un modelo sintético del subsuelo, que simula características conocidas, arrojará resultados que podrán ser fácilmente comparados con el conocimiento sobre dichas características. Esto permite una validación

directa de la funcionalidad que de otro modo no podría ser garantizada, puesto que el mapeo de la litología es un trabajo aún en proceso.

5 Metodología

5.1 La Herramienta: Sistema de Clasificación Basado en un Mapa Autoorganizado

Una red neuronal artificial (ANN, artificial neural network) es un modelo computacional diseñado para simular la estructura y funciones de las redes de neuronas biológicas del cerebro humano, así como la manera en la que este procesa y analiza la información. Una ANN es construida mediante una red de neuronas interconectadas, llamadas unidades de procesamiento, que se modifican o “aprenden” de la información que fluye a través de la red. Existen diversos tipos de ANN, según el paradigma de aprendizaje (supervisado, no supervisado, por refuerzo) [6].

La herramienta que se presenta hace uso de un tipo de red neuronal de aprendizaje no supervisado conocida como mapa autoorganizado (SOM, self-organizing map). En la técnica de agrupamiento de una SOM, los datos que son colocados dentro de un mismo grupo, poseen una similitud máxima entre ellos y una similitud mínima con respecto a los elementos de otros grupos. Además, esta agrupación de datos similares ocurre de manera que es posible la visualización efectiva de conjuntos de datos multidimensionales, permitiéndole ser una técnica útil de reconocimiento de patrones en la exploración sísmica [7,8].

5.2 Funcionamiento

La herramienta que se presenta sigue el proceso descrito a continuación:

1. Procesamiento de las señales sísmicas: organización y ajuste del conjunto de trazas sísmicas al modelo de datos que será utilizado en el entrenamiento de la red neuronal y en el proceso de clasificación.
2. Entrenamiento de la red neuronal SOM, con una muestra representativa de las trazas sísmicas del conjunto original.
3. Clasificación de todas las trazas sísmicas presentes en el conjunto utilizando la red neuronal entrenada.
4. Generación de la imagen sísmica (modelado del subsuelo) utilizando la clasificación obtenida.

6 Resultados

Imagen Sísmica

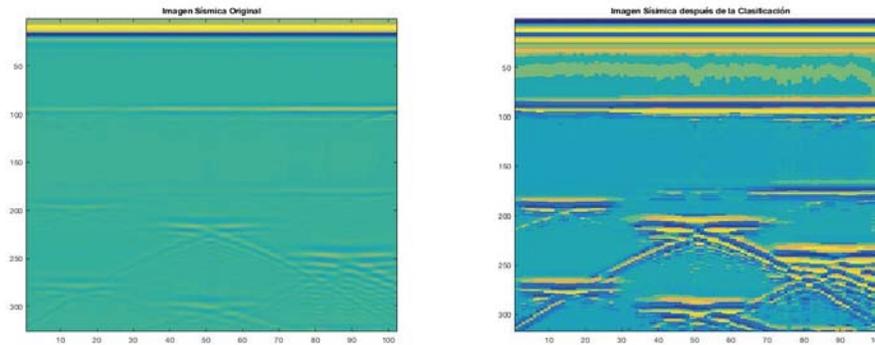


Figura 2. Izquierda: Imagen sísmica del área de estudio antes de la clasificación. Derecha: Imagen sísmica del área de estudio después de la clasificación.

En este trabajo se ha presentado un método de análisis de datos de origen sísmico que permite generar una representación más detallada del subsuelo al clasificar las señales con base en sus características comunes.

La figura 2 muestra los resultados de la herramienta desarrollada: por el lado izquierdo, la sísmica original de la zona representada por la base de datos y por el lado derecho, la sísmica de la zona utilizando los resultados de la clasificación de las trazas sísmicas. En este caso, las señales fueron clasificadas en 36 grupos, con base en su distancia respecto de las firmas sísmicas encontradas por la red neuronal para definir dichos grupos (a menor distancia, mayor similitud y viceversa). Como se aprecia en la figura, esta clasificación permite una caracterización más detallada de la sísmica que permite identificar sus zonas con cambios o patrones similares.

Finalmente, es importante mencionar que este sistema no sustituye los trabajos de análisis y mapeo de las capas del subsuelo realizados por geólogos y geofísicos. Sin embargo, el sistema propuesto permite una visualización distinta de las zonas sísmicas, la cual puede ser provechosa para los expertos en la materia en la realización de mapeos y estudios más acertados sobre las propiedades de estas capas.

Referencias

1. S. Aghabozorgi, A. Seyed and T. Ying, "Time-series clustering – A decade review", *Information Systems*, 53, 16-38, (2015).
2. T. Warren, "Clustering of time series data – a survey", *Pattern Recognition, The Journal of the Pattern Recognition Society*, 38, 1857-1874, (2005).
3. T. Kohonen, *Self-Organizing Maps*, 3rd ed., Vol. 30, Springer Series in Information Sciences, (Springer, Berlin, 2001).

4. Ö. Yilmaz, *Seismic Data Processing*, Vol. 2, Investigations in Geophysics, (Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, 1988).
5. A. E Barnes, *Handbook of Poststack Seismic Attributes*, (Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, 2016).
6. S. Haykin, *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, 2nd ed., (Prentice Hall, Upper Saddle River, 1994).
7. M. Castro de Matos, P. Manassi, P. Schroeder, "Unsupervised seismic facies analysis using wavelet transform and self-organizing maps", *Geophysics*, 72 (1), 9-2, (2007).
8. A. Roy, M. Matos, K. J. Marfurt, "Automatic Seismic Facies Classification with Kohonen Self Organizing Maps – a Tutorial", *Geohorizons Journal of Society of Petroleum Geophysicists*, 6-14, (2010).

Desarrollo de un entorno de simulación robótica utilizando Gazebo

Carlos Acosta-Montalvo, Carlos Brito-Loeza y Arturo Espinosa-Romero

Facultad de Matemáticas, Universidad Autónoma de Yucatán, México.
cenrique789@gmail.com, carlos.brito@correo.uady.mx,
eromero@correo.uady.mx

Resumen Actualmente los simuladores de robótica juegan un papel importante en el desarrollo de algoritmos que se aplican a los robots. Existen diversos tipos de simuladores para robots, entre los más utilizados se encuentra el simulador Gazebo, el cual cuenta con gama amplia de bibliotecas de física que permiten hacer simulaciones muy realistas. Gazebo es capaz de trabajar junto con otros entornos de robótica, cuenta con diversos modelos de robots, así como con una gran variedad de sensores. En este trabajo se presenta el desarrollo del entorno de un laboratorio real como parte de las acciones del proyecto de vehículos aéreos no tripulados (VANT) de nuestro grupo de investigación.

Keywords: Gazebo, SDF, ROS, Drones.

1. Introducción

En la actualidad los simuladores tienen un papel importante en la investigación robótica, siendo eficaces y rápidos al dar capacidad de observar el comportamiento que tendría el robot al probar estrategias, nuevos conceptos y algoritmos que se utilizarán en los robots reales, los cuales solo requerirán de pequeños ajustes necesarios por errores que se generan en la implementación real y que el simulador no es capaz de reproducir de forma precisa.

Existen diversos simuladores para robótica. Entre los más conocidos se encuentran V-REP, USARSim, jmeSim, Webots y Gazebo, entre otros. Estos simuladores ofrecen integración con el Sistema Operativo para Robots (ROS *por sus siglas en inglés*), cada uno ofrece gran fidelidad en gráficos y buena exactitud al simular la física del robot [1]. En particular, siendo Gazebo un simulador de código abierto lo convierte en una buena elección para desarrollar simulaciones de proyectos en robótica.

En este trabajo se desarrolla el entorno de simulación del laboratorio CLIR que se encuentra ubicado en las instalaciones de la Facultad de Matemáticas de la UADY. Este desarrollo es parte de las acciones de trabajo para construir las herramientas necesarias para el proyecto de investigación en VANTs, mejor conocidos como drones, de nuestro grupo de investigación.

2. Entorno de simulación dinámico 3D Gazebo

Gazebo es un simulador dinámico 3D con la habilidad de simular precisa y eficientemente poblaciones de robots en entornos interiores y exteriores ofreciendo simulaciones físicas con alto grado de fidelidad [2]. En este simulador es posible desarrollar diseños propios de modelos describiéndolos en el formato de descripción de simulación (SDF *por sus siglas en inglés*). De igual manera es posible tener en el simulador robots comerciales utilizados en el área robótica como lo es el robot PR2, el robot Youbot, el robot Turtlebot, (ver figura 1). Así como drones, Quadcopter, Parrot Bepod 2 y ARdrone.

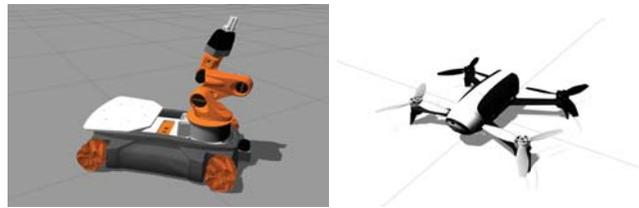


Figura 1. Modelos de robots en Gazebo.

En el trabajo de McAgree *et al.* [3] se presenta un sistema de control semi-autónomo implementado en un ARDrone 2.0 equipado con un láser de rastreo, el sistema tiene la tarea de mantener una distancia establecida desde el objetivo que se inspecciona y una pose relativa constante, lo que permite al operador maniobrar el dron alrededor del objetivo con facilidad. En [3], los autores usan un entorno de simulación virtual para probar que el camino recorrido del vehículo nunca interfiera con una zona de seguridad determinada.

En [4], Zamora *et al.* presentan una extensión de OpenAI Gym para robots usando ROS y el simulador Gazebo. Este trabajo muestra los resultados obtenidos usando dos técnicas de aprendizaje por refuerzo: Q-Learning y SARSA, operando bajo las mismas condiciones virtuales. Cuentan con una colección de 6 entornos para 3 robots (Turtlebot, Erle-Rover y el dron Erle-Copter) donde los robots evaden los obstáculos del circuito que recorren.

3. Creación del entorno de simulación del laboratorio

3.1. Simulation Description Format (SDF)

SDF es un formato basado en XML que se utiliza para describir objetos y entornos a simular. Utilizando el lenguaje SDF se puede describir con precisión todos los aspectos de un robot; desde un chasis simple con ruedas, hasta un humanoide. Además de los atributos cinemáticos y dinámicos, se pueden definir sensores, propiedades de superficie, texturas, fricción y muchas más propiedades

[5]. SDF es ampliamente usado para simulación, visualización, planificación de movimiento y control de robots.

Un modelo en SDF se compone básicamente de enlaces, uniones y *plugins*. Los enlaces y las uniones descritos en SDF son la abstracción de las partes que conforman a un robot y los *plugins* son los códigos que se utilizan para manipular los modelos. Los enlaces deben ser descritos desde su aspecto visual y geométrico,

```

<?xml version='1.0' ?>
<sdf version='1.4' ?>
  <model name='CLIR1' ?>
    <link name='Door_3' ?>
      <collision name='Door_3_Collision' ?>
        <geometry>... </geometry>
      </collision>
      <visual name='Door_3_Visual' ?>
        ...
      <velocity_decay>
        <linear>0</linear>
        <angular>0</angular>
      </velocity_decay>
      <pose>-15.4588 1.25909 0 0 -0 0</
        pose>
    </link>
    ...
  </model>
</sdf>

```

Figura 2. Fragmento de código SDF.

considerando su masa, la matriz de inercia, sus colisiones, hasta aspectos como su pose. Las uniones son los puntos donde se juntan dos enlaces se describen con sus propiedades cinemáticas y dinámicas. A los modelos se les puede añadir sensores como cámaras y éstas se les puede describir su pose, el tamaño en ancho y largo de la imagen que proporciona, el ruido y si se está utilizando ROS, con el tópico donde publica su información. Un fragmento de código ejemplo en formato SDF, del desarrollo del entorno de nuestro laboratorio, se muestra en la figura 2.

3.2. Building Editor

La herramienta de edición de edificios que proporciona Gazebo permite de forma muy rápida construir la simulación un edificio. Es posible importar una imagen que tenga los planos de una estructura y construir sobre estos, levantar paredes, añadir ventanas, puertas, escalera y pisos extras, así como texturas y pintura. Para detallar las medidas de estos componentes de la estructura el

editor de edificios ofrece inspectores. Al final, la simulación cuenta con las características y forma deseadas y es posible guardarlo en un archivo .sdf capaz de exportarse a cualquier otro entorno de simulación. En la figura 3 se observa el entorno de simulación del laboratorio CLIR.

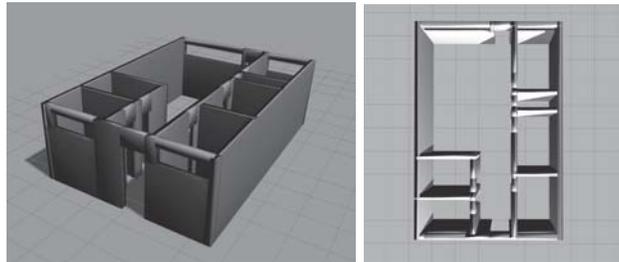


Figura 3. Diseño del laboratorio CLIR en Gazebo.

4. Integración del simulador Gazebo con ROS

En esta sección se explica como integrar el simulador Gazebo con ROS para diversos trabajos de robótica. ROS es un entorno flexible de código abierto para programar robots. ROS proporciona una capa de abstracción de hardware, en la que los desarrolladores pueden construir aplicaciones de robótica sin preocuparse por el hardware subyacente [6].

Al trabajar con ROS una terminología básica que es necesaria entender son los Tópicos y los Nodos. Los Tópicos son la infraestructura del sistema de transmisión de mensajes de ROS. El mensaje que pasa por el sistema de publicación-suscripción donde un nodo publica mensajes a un tópico y cualquier número de nodos puede recibirlos suscribiéndose al tópico. El nodo es la unidad más pequeña de ROS. Un nodo usualmente usa tópicos para entrada y salida, y encapsula una sola unidad de funcionalidad. Los grupos de nodos comúnmente forman una canalización de datos. Los nodos pueden estar contenidos en paquetes y los paquetes a su vez pueden contener otros programas como archivos de lanzamiento [7].

ROS y Gazebo han sido utilizado en diferentes trabajos como en [8] donde se describe como construir una simulación para localización simultanea y mapeo (SLAM, *por sus siglas en inglés*) basado en ROS usando el robot PR2.

El paquete *tum simulator* contiene la implementación de un simulador para Gazebo del ARdrone 2.0 desarrollado por Huang y Sturm [9]. Para este trabajo se utiliza este paquete unido con el entorno de simulación desarrollado para implementar un método que involucre la unión entre algoritmos de visión computacional e ingeniería de control mejor conocido como *Visual Servoing* para la manipulación del movimiento de un drone.

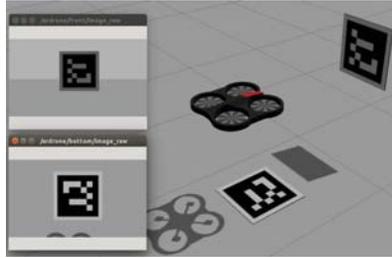


Figura 4. Detección de marcadores usando el ARdrone en Gazebo.

En el trabajo realizado por Araar y Aouf [10] se utiliza *Visual Servoing* basado en imágenes para hacer que un dron de cuatro motores sea capaz de realizar una inspección de manera autónoma a las líneas de transmisión de energía eléctrica ($p_L = 0$) con un rumbo constante ψ y una altura determinada h . La función de error que describe el problema de *Visual Servoing* es

$$e(t) = s(m(t), a) - s^*$$

donde

- $m(t)$, vector que contiene medidas relacionadas con el objeto de interés.
- a incluye conocimiento adicional del sistema, típicamente parámetros intrínsecos de la cámara.
- s representa un vector dimensional k calculado de $m(t)$ y a .
- s^* es el estado deseado del vector s .

5. Trabajo a futuro

El trabajo futuro inmediato es utilizar el ARdrone en Gazebo, usando nodos de ROS, con el fin de implementar diversos algoritmos de visión computacional, control y machine learning que le permitan al dron utilizando sus cámaras, frontal e inferior, para detectar marcadores en el suelo y definir una ruta sobre los mismos entre otras diversas aplicaciones que se le pueden dar.

6. Conclusiones

Los simuladores de robótica son herramientas adecuadas para el desarrollo de problemas de investigación ya que le permite a los investigadores ser más rápidos, minimizar riesgos y obtener resultados muy realistas. El desarrollo del entorno conlleva a tener conocimiento del lenguaje SDF basado en XML y la unión entre Gazebo y ROS da la capacidad de manipular los modelos de robots para utilizarlos dentro de la simulación. El laboratorio de nuestro grupo, diseñado virtualmente dentro del simulador Gazebo será de gran utilidad para futuros trabajos de investigación en robótica.

Referencias

1. Adam Haber, Matthew McGill, and Claude Sammut. Jmesim: An open source, multi platform robotics simulator. In *Proceedings of Australasian Conference on Robotics and Automation (December 2012)*, 2012.
2. Open Source Robotics Foundation. Gazebo. <http://gazebosim.org/>. [Accessed: 2017-11-24].
3. Owen McAree, Jonathan M Aitken, and Sandor M Veres. A model based design framework for safety verification of a semi-autonomous inspection drone. In *Control (CONTROL), 2016 UKACC 11th International Conference on*, pages 1–6. IEEE, 2016.
4. Iker Zamora, Nestor Gonzalez Lopez, Victor Mayoral Vilches, and Alejandro Hernandez Cordero. Extending the openai gym for robotics: a toolkit for reinforcement learning using ros and gazebo. *arXiv preprint arXiv:1608.05742*, 2016.
5. Open Source Robotics Foundation. Sdf. <http://sdformat.org/>. [Accessed: 2017-11-24].
6. Lentin Joseph. *ROS Robotics Projects*. Packt Publishing Ltd., 2017.
7. Alex Burka and Seth Foster. Neato quadcopters. *URL: web. cs. swarthmore.edu/~ meeden/cs81/s12/papers/AlexSethPaper. pdf (handling date 12.01. 2015)*, 2012.
8. Ilya Afanasyev, Artur Sagitov, and Evgeni Magid. Ros-based slam for a gazebo-simulated mobile robot in image-based 3d model of indoor environment. In *International Conference on Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems*, pages 273–283. Springer, 2015.
9. ROS.org. Tum simulator. http://wiki.ros.org/tum_simulator. [Accessed: 2017-11-24].
10. Oualid Araar and Nabil Aouf. Visual servoing of a quadrotor uav for autonomous power lines inspection. In *Control and Automation (MED), 2014 22nd Mediterranean Conference of*, pages 1418–1424. IEEE, 2014.

Diseño de un sistema de seguridad y prototipo β para un robot explorador en ambientes hostiles, por intervención bruta del control y reubicación espacial en zona segura

Alejandro Lupiáñez Bellido¹, Israel Sánchez Domínguez²

¹ UVM – Campus Mérida, Mérida, Yucatán, México

² UNAM – IIMAS - Unidad- Mérida, Mérida, Yucatán, México

Alejandro.lupianez@My.uvm.edu.mx

israel.sanchez@iimas.unam.mx.

Abstract. El uso de la tecnología para la inspección de zonas de riesgo, es un campo que ha ido creciendo, sin embargo aún hay varias limitantes que no pueden ser solventadas, como la autonomía de los dispositivos de inspección. En este trabajo se presenta el diseño, construcción y caracterización de un prototipo β , de un robot móvil para inspección en zonas donde haya poco espacio de movimiento, visibilidad limitada y terreno irregular; caso muy concreto cuando ocurre un derrumbe, centrándose en el sistema de seguridad capaz de asegurar su integridad en desplomes inesperados o cambios en la inclinación del terreno. El prototipo se diseñó basado en una plataforma Arduino, con varios sensores, algunos de los cuales pueden ser intercambiables según los requerimientos específicos del ambiente de operación del robot de exploración.

Keywords: Arduino, Robot, explorador, prototipo, sensores.

1 Introducción

La naturaleza es impredecible además de altamente destructiva, y sin embargo realmente lo que causa mayor daño a la vida humana son nuestras obras; edificios, carreteras o puentes, al ser destruidos por fenómenos naturales. Por esta razón, es necesario contar con dispositivos que sean capaces de realizar tareas para los que los humanos no estamos preparados y puedan facilitar el trabajo. Un ejemplo claro se vive en los derrumbes, donde es necesario realizar inspecciones en espacios reducidos con riesgo de desplome del terreno, alta contaminación, etc... Para estas actividades, se diseñó un sistema de seguridad aplicable a robots de inspección en zonas peligrosas, tanto para un humano, como, inclusive, para el propio robot de inspección, por esto, el software diseñado, le permite protegerse en planos inclinados repentinos como escombros por derrumbe, fallas geológicas o terreno arenoso, y colocarse en una posición segura sin requerir de una rápida y precisa corrección del operador. Tras la acción de protección, las funciones del robot volverán al control normal, siempre que se encuentre en una posición segura. Para todo esto es necesario contar con dispositivos que sean capaces de determinar situaciones de riesgo. Con esto en consideración, se construyó un prototipo β simple del robot explorador final donde se implementaron varios sensores controlados por una plataforma Arduino UNO [1], esto debido a su facilidad de comunicación, programación y control de los sensores.

2 Metodología

Para comenzar el diseño del sistema de seguridad, y poder comprobar su funcionamiento, se construyó un dispositivo robótico (prototipo β), con interfaz, componentes y programación simples, donde se cargará únicamente el control de los sensores y el algoritmo de seguridad simplificado por el cual el dispositivo será capaz de iniciar/reanudar el sistema mediante acción externa (para fines de este proyecto se define esta condición como una interacción con un sensor táctil en el prototipo β implementado), detectar cambios de inclinación en el plano horizontal, objetos o paredes cercanas en las direcciones de avance - retroceso y considerar un estado de seguridad añadido actuando de apagado forzado (stand-by) del propio sistema de seguridad (esta acción en el prototipo β , se implementará mediante un sensor de color, captando una tarjeta roja, pudiendo ser, desempeñada por otros tipos de sensores en el modelo del robot explorador final, de acuerdo a la aplicación deseada y parámetros del terreno como temperatura o humedad). Es importante destacar que en lo que concierne al prototipo β construido, dado que únicamente se le cargará los sistemas de control (sensores) y el algoritmo de seguridad, en todo momento en el que el prototipo se encuentre inmóvil, esto será considerado como un control normal del sistema del robot explorador final. También es conveniente añadir que se entiende que, en un modelo final del explorador, el sistema de seguridad permanece ejecutándose en segundo plano hasta que se dan las condiciones necesarias para su intervención en el sistema principal de control. En base a estos lineamientos de funcionamiento se desarrolló la lógica de programación mostrada en el diagrama de flujo de la Fig. 1 y se eligieron los tipos de componentes y los modelos concretos de éstos, que se implementaron para poder seguir de manera simple, dicha lógica de funcionamiento.

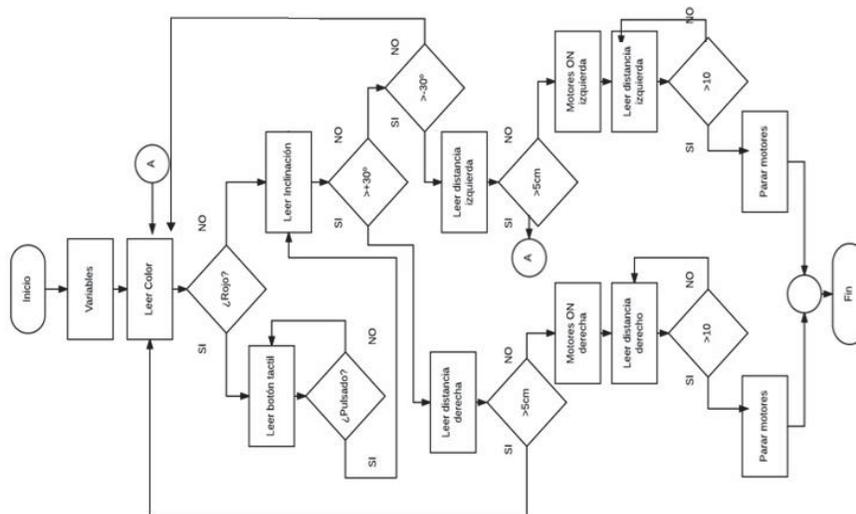


Fig. 1. Diagrama de flujo del funcionamiento del robot.

Los modelos finales elegidos para la implementación del prototipo β , fueron:

- Plataforma: **Arduino UNO**[1]. Elegido en base a su facilidad de programación y compatibilidad con sensores básicos y de fácil disponibilidad. Para facilitar las conexiones del resto de componentes se utilizará el apoyo de una **tarjeta Shield para Arduino** acoplada justo sobre el propio Arduino.
- Sensor giroscopio/acelerómetro: **MPU-6050** [2].
- Sensor de distancia: **Sensores ultrasónicos Hc-SR04** [3].
- Sensor o interruptor y reanudación: **TouchPad capacitivo TTP223B** [4].
- Sensor de apagado de emergencia del sistema de seguridad: **Sensor de color TCS230** [5].
- Unidad de potencia: **2 motoredutores simples con llanta acoplada**.
- Fuentes de alimentación para control y tracción por separado: tanto la placa base del sistema (Arduino UNO) como la potencia de los motoredutores se alimentan con 2 baterías aisladas de 9V. Una de ellas encargada de alimentar a todo el sistema de control por Arduino y la otra dedicada exclusivamente a la tracción de los motoredutores, vinculados por la electrónica de potencia.
- Electrónica de potencia: se controlaron los motores mediante un doble **punto H encapsulado L293D** controlado mediante las señales **PWM del Arduino**.

Para comprender estos componentes, su funcionamiento y sus valores críticos, primeramente se realizó una batería de pruebas en cada uno de ellos, donde se obtuvieron los siguientes valores:

- El valor RAW que el Giroscopio MPU-6050 presentó para una correspondencia a 30 grados (valor editable según operación, preestablecido en la lógica de funcionamiento) fue de 8400 en el eje longitudinal.
- El sensor Ultrasónico Hc-SR04 mide el tiempo transcurrido entre el momento en que envía un pulso sónico y el momento en que lo recibe. Como resultado se obtuvo:

$$\text{Tiempo (para 1cm)} = \frac{1\text{cm}}{\text{vel sonido}} = \frac{1\text{cm}}{0.0343\left(\frac{\text{cm}}{\mu\text{s}}\right)} = 29.15 \mu\text{s} \quad (1)$$

$$\text{distancia(cm)} = \frac{(\text{tiempo medido}/2)}{29.15} \quad (2)$$

- En la conexión de alimentación mediante el Puente H L293D, las pruebas se centraron en probar los valores para los PWM, la velocidad de giro resultante en los servos, definiendo los sentidos de giro y establecer el esquema de conexiones, como se observa en la Fig. 2. Para un valor máximo de corriente en los motores, corresponde el valor 255 del PWM desde Arduino.

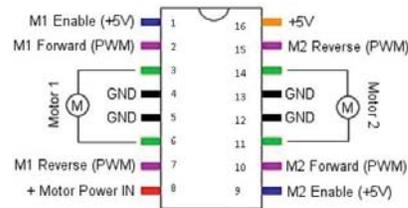


Fig. 2. Esquema de conexiones del Puente H L293D.

- En lo referente al **sensor de color TCS230** son destacables las configuraciones preestablecidas para captar porcentajes determinados de la frecuencia de los colores primarios en función a los LED's integrados en el dispositivo (S0, S1, S2, S3). Para una lectura de color rojo a un 20% de su frecuencia se tiene:

$$S0 = \text{HIGH} \quad S1 = \text{LOW} \quad S2 = \text{LOW} \quad S3 = \text{LOW}$$

- Por otro lado, para determinar la tarjeta roja se acotaron entre un rango de valores RAW para el sensor de $30 < \text{Rojo} \leq 35$. Estos valores se obtuvieron mediante la prueba y monitoreo de la frecuencia recibida mostrando al sensor el color que debe detener el programa.

Para el diseño físico y construcción del prototipo β , se desarrolló un soporte simple donde se montaron todos los elementos del sistema, este diseño debe considerar, principalmente, la instalación de los motoredutores, así como la ubicación de los sensores ultrasónicos de distancia. El diseño de este soporte se presenta en la Fig. 3.

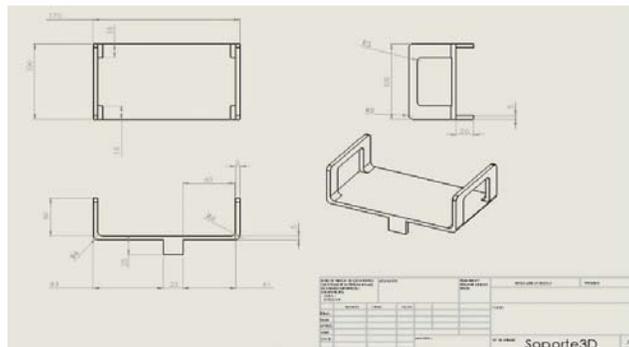


Fig. 3. Planos para el soporte del prototipo β , del robot.

Posterior a esto, se realizó un mecanizado en material acrílico debido a su transparencia y su facilidad para usar piezas mecánicas como tornillos para anclar los componentes a la base. Se procedió a realizar el montaje y conexiones de todos los componentes y sensores de acuerdo a la lógica y nomenclatura de entradas y salidas propuesta en el código del programa de Arduino, como se observa en la Fig. 4.

el valor mínimo de 5 cm aunque la inclinación iguale o supere a los 30° de límite. La intervención del sistema de seguridad concluye con el posicionamiento del dispositivo a una distancia segura de 10 cm. Estos valores críticos de 30° y 5-10 cm son valores propios del prototipo β . La parte de alimentación para el robot se solucionó colocando dos baterías de 9V, a cada extremo del robot, sobre las ruedas traseras, sin embargo la potencia de estas baterías no es la más adecuada para el robot, ya que le resta autonomía y sobre todo, potencia de tracción. La alimentación para la plataforma Arduino no presenta mayores problemas con este tipo de configuración.

4 Conclusiones

Podemos llegar a las siguientes conclusiones: Se diseñó, construyó y caracterizó un robot móvil, basado en una plataforma Arduino. El funcionamiento de los sensores empleados, permitió obtener respuestas conforme a lo estipulado en el diagrama de flujo. Sin embargo la lógica del diagrama, principalmente en el código de control de los sensores, permitió observar una serie de fallas. Respecto al hardware se observó la poca tracción de los neumáticos utilizados, dejando al robot en una situación de inestabilidad. Toda la lógica de programación se basa en que las ruedas del robot, en ningún momento, estén ancladas mecánicamente al motor, por lo que si no tienen tracción, rodaran en el sentido de la pendiente. Por eso es necesario que la superficie de las ruedas tengan un elevado coeficiente de rozamiento con la superficie. En relación a esto, se pueden identificar las dos mayores problemáticas del prototipo que deberán ser solucionados en versiones posteriores del robot:

- Los motores requieren una mayor potencia para generar mayor tracción en las ruedas para que sean capaces de vencer la inclinación.
- El coeficiente de fricción de las ruedas debe ser muy superior al generado por las ruedas utilizadas para evitar que estas resbalen.

Referencias

1. **Manual de programación Arduino uno.** <https://arduinoobot.pbworks.com/f/Manual+Programacion+Arduino.pdf>, last accessed 2017/11/21.
2. **MPU-6050** Homepage, <https://playground.arduino.cc/Main/MPU-6050>, last accessed 2017/11/21.
3. **HC-SR04** Homepage http://www.naylampmechatronics.com/blog/10_Tutorial-de-Arduino-y-sensor-ultras%C3%B3nico-HC-S.html last accessed 2017/11/21
4. **TTP223B** Homepage, <https://radiokot.ru/konkursCatDay2014/53/01.pdf>, last accessed 2017/11/21.
5. **TCS230** Homepage, <http://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-color-sensing-tutorial-tcs230-tcs3200-color-sensor/>, last accessed 2017/11/21.

Diseño, simulación, construcción y caracterización de transductores ultrasónicos.

J. Valladares¹, P.E. Méndez-Monroy², I. S. Domínguez².

¹ Instituto Tecnológico de Mérida. Yucatán, México.
valladaresperezjose@gmail.com

² Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas (IIMAS) Sede Mérida. Universidad Nacional Autónoma de México – Universidad Académica Yucatán. Yucatán, México.
erick.mendez@iimas.unam.mx
israel.sanchez@iimas.unam.mx

Resumen. El objetivo principal del presente trabajo es simular, diseñar, construir y caracterizar un transductor ultrasónico con una frecuencia de resonancia que se adecuara al tipo de medición que se desea realizar, siendo esta de origen biológico, se aproximó a los 15 MegaHertz (MHz). Se calculó y simuló un circuito equivalente del transductor con ayuda del programa Pspice para obtener parámetros de diseño y proceder a la construcción. El proceso de construcción fue artesanal, haciendo uso de materiales y herramientas que se pudieran adquirir en la península de Yucatán La caracterización del dispositivo fue mediante el uso del circuito equivalente que se implementó en una placa fenólica de cobre y se realizaron mediciones con ayuda de un osciloscopio y un generador de funciones. El diseño y caracterización presentaron resultados prometedores, permitiendo plantear etapas de desarrollo y construcción más estructuradas para transductores sucesivos.

Palabras clave: transductor, simulación, ultrasonido, Pspice.

1 Introducción.

El uso de transductores ultrasónicos en aplicaciones como la medicina o la industria, siendo más específico en el desarrollo de equipos médicos como detectores de pulsos de fetos, medidores de flujo, prótesis, odontología, etc., han generado todo un campo del conocimiento en constante crecimiento y desarrollo [Gómez, 2006]. Debido a la diversificación de frecuencias y potencias de operación, es necesario considerar sus características, así como los parámetros y materiales necesarios para el diseño, construcción y caracterización de estos transductores y el manejo de las señales asociadas. Durante los últimos años se han realizado diversas investigaciones en esta área, Sarán [Sarán, 2005] analiza el comportamiento del material Zirconato-Titanato de Plomo (PZT), debido a sus propiedades piezoeléctricas, este es el mismo material que se utilizó en este trabajo, más recientemente, Sánchez [Sánchez, 2011] simula y caracteriza un

transductor PZT usando Rexolite como material de acoplamiento ya que posee una impedancia acústica ideal, debido a que es similar a la del agua.

2 Diseño.

Se diseñó un transductor ultrasónico para funcionar a una frecuencia de operación de 15 MHz, utilizando como elemento activo una cerámica Zirconato-Titanato de Plomo (PZT), la capa de acoplamiento está compuesta por un disco de Rexolite. El dispositivo se conecta a una interfaz de computadora mediante un conector de audio analógico monofónico de 3.5mm de forma que la comunicación sea de modo plug and play. Se usaron dos encapsulados distintos, el primero de polietileno de alta densidad (PEAD) por sus propiedades aislantes, y el segundo de acero inoxidable debido a su rigidez mecánica.

3 Simulación.

Se simuló un circuito oscilador que presenta una frecuencia de resonancia igual que la del transductor diseñado. El diagrama utilizado se presenta en la figura 1 (a).

La simulación se realizó con la ayuda del software de ORCAD - PSPICE 9.1 student versión, debido a que este es un software libre, consiguiendo una simulación que permite analizar la respuesta en frecuencia del transductor.

La ecuación 1 permite calcular la frecuencia de resonancia de la rama en serie de la figura 1. La frecuencia de resonancia (f_s) es la frecuencia de operación del circuito, para este caso es de 15 MHz.

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} \quad (1)$$

La ecuación 2 describe la frecuencia de resonancia (anti resonancia) de la rama en paralelo del mismo diagrama.

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} \sqrt{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_0}} \quad (2)$$

L_1, C_0, C_1 Son los valores de los componentes electrónicos, inductores y capacitores respectivamente. Para propósitos de diseño, se utilizará la siguiente regla $C_0 = 1000 C_1$ para que el valor de la frecuencia de la rama en paralelo (anti resonancia) quede cercana a la de la rama en serie (resonancia) [Ștefănescu, 2011]. Utilizando la frecuencia de resonancia deseada (15 MHz) y proponiendo un valor para el inductor L_1 , se calculan C_1 y C_0 . A R_0 se le asignó un valor pequeño para evitar la disminución de la señal de forma significativa. Estos valores se sustituirán en la simulación para analizar la respuesta en frecuencia del circuito final.

4 Caracterización.

Una vez calculado y simulado el circuito equivalente, se construyó el transductor con el fin de realizar pruebas de caracterización con ayuda de un generador de funciones y un osciloscopio y así determinar la respuesta en frecuencia del transductor, realizando un barrido desde 1MHz, hasta 18 MHz. La conexión se muestra en la figura 1 (b).

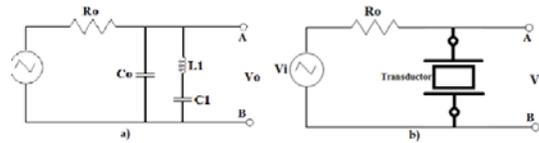


Fig. 1. a) Diagrama equivalente del transductor. b) Diagrama de conexión para realizar pruebas en el transductor.

El análisis consiste en circular una señal de voltaje y frecuencia conocidos, para este caso se usó una onda senoidal de 5 volts, a través del transductor con la ayuda de un generador de funciones incrementando gradualmente la frecuencia, mientras que de modo simultáneo se mide el voltaje entre los puntos A y B, este valor se captura en un osciloscopio de forma continua para observar su comportamiento voltaje-frecuencia. La respuesta indica que mientras más se acerque la frecuencia generada a la frecuencia de resonancia, el voltaje disminuirá hasta volverse casi cero, para luego incrementar de forma abrupta al acercarse a la frecuencia de anti resonancia.

5 Resultados.

5.1 Diseño.

Los planos de los encapsulados se realizaron en base a las dimensiones de la cerámica de PZT, estos se observan en la figura 2.

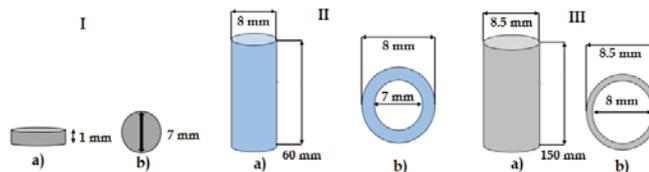


Fig. 2. (I) Cerámica de PZT. a) Vista frontal, b) Vista superior. (II) Tubo de polietileno de alta densidad. a) Vista frontal b) Vista superior. (III) Tubo de acero inoxidable. a) Vista frontal b) Vista superior.

5.2 Simulación.

Usando las ecuaciones (1) y (2), se estableció la frecuencia de resonancia a 15 MHz, con C_0 y C_1 definidos en la sección 3 y se obtuvieron los valores ideales para los componentes restantes del circuito. Estos valores se introdujeron en el entorno de simulación Pspice empleando el circuito de la figura 3a. Sin embargo al proceder a construir el circuito, surgió la problemática estos valores no coincidían con estándares comerciales, por lo que se hizo un ajuste a los valores más cercanos. Los valores modificados fueron de 11.257 a 12 nF y pF para los capacitores C_0 y C_1 respectivamente, estos cambios se aprecian de igual forma en la figura 3b.

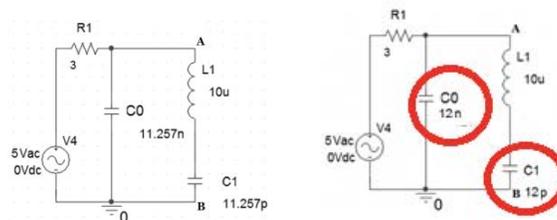


Fig. 3. Circuito equivalente del transductor con valores ideales (Izquierda), circuito con valores comerciales (Derecha).

A ambos circuitos se les realizó un barrido de frecuencia de 1 a 18 MHz para encontrar la frecuencia de resonancia y de anti resonancia, la gráfica resultante para los valores ideales se observa en la figura 4 (Izquierda), observando el comportamiento de la señal como va modificándose hasta obtener el valor de resonancia, situándose en aproximadamente 15MHz. la modificación los capacitores genera un corrimiento en la frecuencia de resonancia final, como se aprecia en la figura 4 (Derecha).

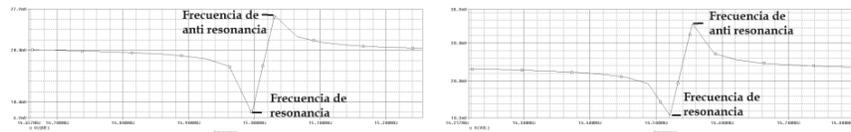


Fig. 4. (Izquierda) Respuesta en frecuencia del circuito equivalente con valores ideales. (Derecha) Respuesta en frecuencia del circuito equivalente con valores comerciales.

Como resultado de la adaptación de los componentes, la frecuencia de resonancia sufrió un corrimiento, posicionándose en el valor de 14.5 MHz, siendo un resultado aceptable debido a que el cambio en frecuencia es mínimo.

5.3 Construcción.

A partir de los datos de diseño y del proceso de simulación, se llevó a cabo la implementación física del transductor, considerando los elementos previstos para este caso.

Una vez finalizado se procedió a la caracterización, en donde el objetivo fundamental es conocer la respuesta en frecuencia del transductor, cabe mencionar que todo el proceso de construcción se realizó de manera artesanal, debido principalmente a la necesidad de contar con un transductor con una frecuencia lo más cercana a 15 MHz.

El proceso de construcción consiste en soldar cables de cobre a la cerámica piezoeléctrica para luego introducirla en ambos encapsulados, luego se acoplan los cables de cobre a un cable más resistente y se conecta al adaptador de audio, finalmente se pule la capa de Rexolite hasta que se acopla a la cerámica y se pega con un poco de adhesivo, para este se usó uno a base de cianocrilato. El transductor finalizado se observa en la figura 5.



Fig. 5. Transductor ultrasónico con capa de Rexolite.

5.4 Caracterización.

Al realizar la caracterización del circuito equivalente, se capturaron valores de voltaje (Del punto A al B de la figura 1) a diversas frecuencias mediante un generador de señales con un rango de 1 MHz a 18 MHz con incrementos de 0.1 MHz para determinar la respuesta en frecuencia del circuito equivalente, estos datos se graficaron en Excel, mismos que se muestran en la figura 6.

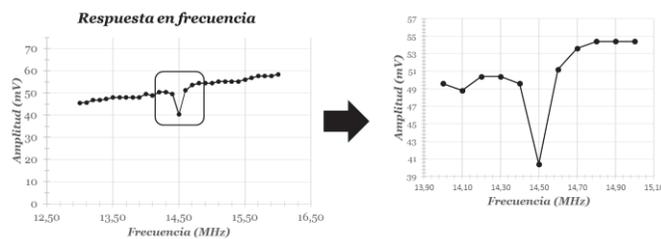


Fig. 6. Respuesta en frecuencia del circuito equivalente.

En la gráfica de la figura 6, se observa una caída de voltaje abrupta justo en la medición realizada a 14.5 MHz, por lo que se corrobora el diseño y funcionamiento del circuito.

Para caracterizar el transductor se realizó un barrido de frecuencias desde 1 a 25 MHz mediante un generador de frecuencias observando la respuesta en un osciloscopio como se explica en el apartado 3 siguiendo la figura 1. Este proceso se realizó también a un transductor comercial de la marca Koben con una frecuencia de resonancia de 8 MHz,

para comparar los resultados. La figura 7 muestra las mediciones obtenidas, donde se observa que el transductor presentó alguna falla durante el proceso de construcción que impidió el correcto funcionamiento de la cerámica (Izquierda), ya que el comportamiento es totalmente diferente del observado en el equipo comercial (Derecha).

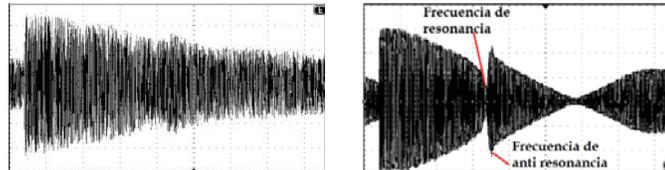


Fig. 7. Barrido de frecuencias del transductor construido (Izquierda), transductor comercial Koben de 8 MHz (Derecha).

6 Conclusiones.

A partir de la cerámica de PZT se realizó el proceso de diseño, generando planos para un prototipo de transductor ultrasónico. Se simuló en LTspice un circuito equivalente de un transductor con frecuencia de operación de 15 MHz, se ajustaron los componentes electrónicos a valores comerciales, lo que causó un corrimiento en la frecuencia a 14,5 MHz. Se construyó el transductor y se realizaron todos los pasos del montaje del transductor, sin embargo una cerámica quebrada o una oscilación mecánica nula evitaron que se desempeñara adecuadamente. Al caracterizar el transductor se realizó una comparación experimental entre el circuito equivalente, el transductor prototipo y un transductor comercial, observando que el circuito equivalente funcionó con forme a diseño y simulación, mientras que los problemas de construcción obstaculizaron una respuesta en frecuencia adecuada por parte del prototipo. Sin embargo, durante el proceso de este trabajo se obtuvieron mejoras en los pasos a seguir para la construcción de nuevos prototipos.

Referencias.

1. Gómez de León Eduardo. (2006). "Ensayos no destructivos: ultrasonidos, nivel II". España. Ed. Fundación CONFEMETAL. 1ª Ed. Pp 11-12
2. Sarán Ballesteros Núria. (2005). "Tecnología de procesos y transformación de materiales". Catalunya, España. Edit. UPC. 1ª Ed. Pp 143.
3. Sánchez Domínguez Israel, Acevedo Contla Pedro, Contreras Juan Antonio. (2011). "Simulación y caracterización de un transductor ultrasónico utilizando Rexolite como acoplamiento acústico". Superficies y Vacío. 24(2). Pp 39-42.
4. Dan Mihai Ștefănescu. (2011). "Handbook of Force Transducers: Principles and Components". Alemania. Edit Springer. DOI 10.1007/978-3-642-18296-9.

Sistema de adquisición y registro de datos con aplicación de hidrófono

Alvaro Callejas--Tavera¹ and Erik Molino--Minero--Re²

¹ Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida Yuc. 13615, México

² IIMAS, Sierra Papacal Yuc.Km 5, 97302, México

¹callejasta@gmail.com

²erik.molino@iimas.unam.mx

Resumen. El objetivo del siguiente artículo es el diseño y construcción de un sistema de adquisición de datos con aplicación de hidrófono que cumpla los requerimientos necesarios para el usuario. La construcción se realizó utilizando tecnología de microcontroladores, memorias SD de almacenamiento y cerámicas piezoeléctricas las cuales se utilizaron como elemento sensor de la acústica marina. El sistema se desarrolló debido a la necesidad de contar con herramientas de adquisición especializadas, configurables y accesibles a las instituciones de investigación que las requieran disminuyendo el costo de producción. Los resultados obtenidos durante la fase de experimentación permitieron detectar áreas de mejora sobre el sistema y sus límites de operación.

Palabras clave: Sistema de adquisición, Hidrófono, Cerámicas piezoeléctricas, Tecnología de microcontroladores

1 Introducción

Los especialistas e investigadores en distintos campos de la ciencia miden parámetros provenientes de la naturaleza, de manera directa o indirecta haciendo uso de sensores especializados según lo que se desea medir. La adquisición de información se realiza a través de dispositivos capaces de capturar y almacenar esta información en dispositivos de almacenamiento como las memorias.

Estos sistemas de adquisición se conocen como registradores de datos, o bien como *data-loggers* en inglés, y pueden tener distintas características de forma y tamaño. También cumplen distintos requisitos de operatividad, funcionamiento, consumo energético, autonomía y forma de almacenamiento entre otros aspectos. Es deseable que dichos registradores de datos cuenten con características de bajo consumo eléctrico, capacidad de configuración de parámetros de operación, o alta sensibilidad, sin embargo estos requisitos conllevan a que sean dispositivos con un alto costo en el mercado.

Un campo de aplicación para los *data-loggers* es el registro de señales acústicas submarinas, donde el elemento sensor es un hidrófono, el cual comúnmente es una cerámica piezoeléctrica la cual es sensible a la vibración mecánica de las ondas acústicas

en el medio acuático y la transforma en una carga eléctrica [1], la cual eventualmente se guarda en el dispositivo como un valor.

El objetivo principal del presente trabajo es el diseño y construcción de un registrador de datos para un hidrófono, que sea autónomo y que realice sus funciones de adquisición por un cierto tiempo definido por el usuario, el cual depende del tamaño de la memoria y baterías las cuales pueden ser de distintas capacidades. Los requerimientos que debe cubrir el sistema de adquisición son los siguientes:

1. Requisitos de operación
 - a. Medición de parámetros de frecuencia comprendidos entre 10 Hz a 8 KHz.
 - b. Dispositivo compacto.
 - c. Bajo consumo eléctrico.
 - d. Funcionamiento con baterías.
 - e. Costo menor a lo encontrado en el mercado.
2. Requisitos de configuración
 - a. Parámetros de operación del microcontrolador.
 - b. Interfaz de usuario amigable entre el operador y el *data-logger*.

2 Metodología

El sistema de adquisición de datos cuenta con un hardware y software desarrollados, los cuales se describen más adelante. El programa principal ejecuta tareas de adquisición e interfaz con el usuario. A continuación se presentan los dos apartados que integran al proyecto en general, y se ilustran en la Figura 1.

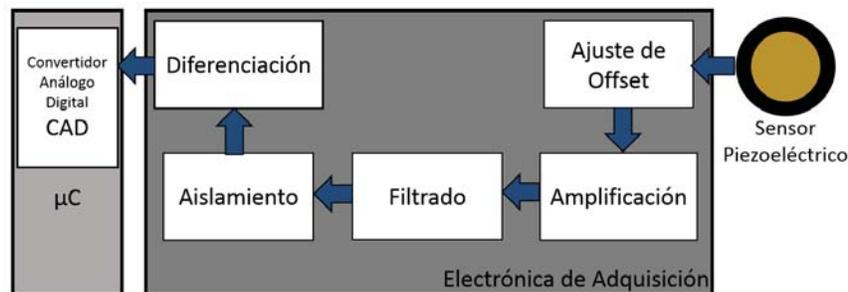


Fig. 1. Bosquejo general del sistema de adquisición de datos. Desarrollo del Hardware del sistema de adquisición

Para el diseño y construcción del sistema de adquisición se decidió utilizar un microcontrolador de la familia PIC24, los cuales por encontrarse en la gama media de Microchip cuenta con las características y funcionalidades adecuadas para la aplicación

que se requiere. El modelo del controlador que se usa en este desarrollo es el PIC24FJ64GB002 [2]. Algunas de las características útiles para el proyecto son:

- a. Protocolos y hardware de apoyo para la comunicación SPI y UART.
- b. Tecnología nanoWatt.
- c. Convertidor analógico digital CAD con tasas de adquisición de hasta 500 ksps.
- d. Reloj y calendario en tiempo real.

El sistema de adquisición está compuesto de un módulo de almacenamiento en memoria para guardar los datos adquiridos durante el experimento. Para comunicar al control central con la memoria microSD fueron necesarias dos etapas. La primera etapa consta del módulo adaptador de memoria microSD a microcontrolador comúnmente utilizado en el mercado para aplicaciones de almacenamiento de información entre controladores y memorias SD, este módulo de hardware cuenta con las resistencias y capacitores para mantener el nivel de voltaje adecuado para la comunicación. La segunda etapa consiste en el módulo comercial SHT-039 el cual integra 4 cambiadores de nivel bidireccionales de un solo canal que comunican al microcontrolador con la tarjeta microSD ya que operan a niveles lógicos de voltaje distintos.

El sistema desarrollado puede operar con memorias microSD de capacidades y clases diferentes. Las tarjetas soportadas pueden ser de 2 a 32 GB, siempre y cuando sean versión 2.0 o superior [3]. En el proyecto se utilizó una memoria SanDisk de 16 GB clase 10.

En cuanto al apartado de comunicación de la PC con el sistema de adquisición se realiza mediante interfaz serial ya que viene integrada al microcontrolador por lo cual fue utilizada. Para concluir con el apartado del hardware del sistema de adquisición vale la pena mencionar que el sistema cuenta con un módulo de alimentación basado en tres reguladores con valores fijos de 5.0 V, 3.3V y -3.3 V, que regulan y alimentan a los módulos.

2.1 Hardware de instrumentación e interfaz con el usuario

Los sistemas de adquisición de datos cuentan con uno o más sensores para poder medir los parámetros deseados durante su funcionamiento, los cuales pueden ser de diversos tipos y requieren de etapas previas para capturar de mejor manera la información. En el caso de este trabajo el sensor es analógico y el microcontrolador cuenta con un módulo convertidor A/D. El sistema de conversión A/D puede trabajar con varias frecuencias de muestreo, que para el caso que se plantea en este trabajo deben de cumplir con el teorema de Nyquist [4], para evitar problemas de aliasing.

En este trabajo se propone un sistema para registrar señales acústicas submarinas por lo que se prosiguió a elaborar un hidrófono a partir de las características de los materiales piezoeléctricos. Para esto se utilizaron los elementos piezoeléctricos que se encuentran en los zumbadores en forma de disco [5], los cuales vibran cuando se les aplica un voltaje en sus terminales, esta propiedad piezoeléctrica es reversible, y el dispositivo

genera una carga eléctrica cuando se le aplica una vibración mecánica. Este efecto es el que se aprovecha para detectar las ondas acústicas.

Una vez implementadas las propuestas para el disco piezoeléctrico se diseñó y elaboró un acondicionador con amplificadores operacionales, el cual filtra, acopla y amplifica la señal que se desea medir para que el microcontrolador pueda muestrearla y adquirirla mediante su convertidor A/D. Este acondicionador se divide en cinco etapas:

1. Amplificador de carga diferencial.
2. Acoplamiento de la señal.
3. Filtrado de la señal.
4. Amplificación por etapas.
5. Ajuste de nivel de offset.

El sistema de adquisición de datos cuenta con indicadores de funcionamiento para detectar fallas durante la ejecución del programa, estos indicadores son diodos emisores de luz también conocidos como LEDs. Además el sistema cuenta con un módulo de interruptores que habilita la configuración manual del dispositivo mediante la interfaz serial.

3 Desarrollo del software del sistema de adquisición

Para el desarrollo del software se revisaron las necesidades del usuario sobre el sistema y a partir de estos requerimientos se diseñaron los módulos que componen al sistema, que se enlistan a continuación:

- Módulo de configuración con interfaz.
- Módulo de inicialización.
- Módulo de adquisición de datos.
- Módulo de registro de datos.

En el apartado de configuración de usuario se programaron tres formas de configuración del dispositivo: la primera de ella se realiza de manera automática cuando el dispositivo es energizado y transcurren dos minutos sin configuración manual por parte del usuario, por lo que el microcontrolador carga la información por defecto mostrada en la tabla 1 iniciando así la adquisición y registro de los datos. Las otras dos formas son iniciadas por el usuario al presionar el botón de configuración en el sistema antes del tiempo límite para la configuración automática, sin embargo dentro de la configuración manual puedes elegir cargar la configuración por defecto eligiendo las horas de trabajo o de otro modo se puede configurar todos los parámetros disponibles en el menú de usuario.

Tabla 1. Parámetros de configuración de usuario del sistema de adquisición.

Parámetros de configuración de usuario		
Campo	Datos por defecto	Número de caracteres
Nombre	IIMAS	20
Institución	UNAM	10

Ciudad	MEX	20
Tiempo para archivos	1 MIN	-----
Hora y fecha	12:00:00---- 01/01/2018	12
Frecuencia de muestreo	50 KHz	-----
Letra inicial de archivo	A	1
Número inicial de archivo	000000	6

Terminada la configuración por parte del usuario se procede a inicializar los módulos internos del microcontrolador con los datos capturados en la configuración, estos módulos son: convertidor analógico digital, reloj y calendario en tiempo real, protocolo de comunicación SPI y drivers para la transferencia de datos entre la memoria microSD y el microcontrolador.

Después de haber inicializado los módulos se crea el libro de registro de datos llamado también como *log-book* en inglés. Dentro de este se registran una única vez los datos mostrados en la tabla 1, en el orden que aparecen. Creado el *log-book* con la información del usuario y de configuración se registra cada vez que se crea un archivo nuevo para guardar la información del convertidor en la parte posterior del registro con el nombre del archivo, la hora y fecha de su creación. Para concluir con el apartado de software se hicieron modificaciones a las bibliotecas de MICROCHIP que comunican al microcontrolador y los periféricos de almacenamiento, haciendo más eficientes los procesos de escritura y lectura de datos hacia la memoria.

4 Resultados

Se llevaron a cabo distintas pruebas de funcionalidad y registro de datos para el sistema, las cuales son listadas a continuación:

- Pruebas de duración.
- Pruebas de creación de archivos.
- Prueba de decodificación y lectura de archivos.
- Pruebas de funcionalidad del sensor y sistema.

El sistema fue probado en el laboratorio bajo condiciones estables de temperatura y operando por lapsos de tiempo programados. Estas pruebas consisten en configurar el dispositivo con los parámetros de configuración del usuario mostrados en la tabla 1 e iniciar la adquisición de datos y su registro en la memoria microSD, la señal que se adquiere proviene de un generador de funciones alternando la forma de la onda y sus frecuencias. También se elaboraron herramientas de decodificación para decodificar la información y visualizar los datos de forma gráfica. Los datos fueron guardados en formato binario bajo una codificación de 4 muestras en 5 bytes.

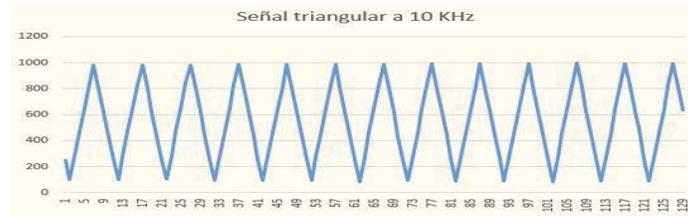


Fig. 2. Señal triangular de 10KHz adquirida por el sistema de adquisición y reconstruida con las herramientas de decodificación.

La señal de 10 KHz mostrada en la figura 2 se adquirió con el dispositivo en el laboratorio, esta toma de datos duro 24 horas y la señal de entrada fue generada por un generador de funciones, para posteriormente ser decodificada y graficada.

5 Conclusiones

El trabajo se desarrolló en base a las necesidades planteadas por el usuario las cuales son mostradas en la introducción. El sistema de adquisición de datos operó de manera satisfactoria durante las pruebas de operación realizadas en el laboratorio cumpliendo los puntos mencionados, además al contrastar los resultados con las señales originales permitieron corroborar que la adquisición de datos se realizó correctamente, además de mantener la codificación e integridad de los datos, su cabecera y su registro en el *log-book*. Sin embargo durante el proceso de creación de archivos a mayor frecuencia de adquisición, se perdían datos debido a que el proceso de apertura y cierre de archivos duraba más que el llenado de los buffers auxiliares que almacenaban la información de manera temporal, por lo que representa una opción de mejora y desarrollo del dispositivo.

Referencias

1. Hisao BANNO, Kohji OGURA, Hideo SOBUE and Kanji OHYA. Piezoelectric and Acoustic Properties of Piezoelectric Flexible Composites, Proceedings of 7th Symposium on Ultrasonic, Kyoto1986: Japanese Journal of Applied Physics, Vol.26
2. MICROCHIP, PIC24FJ64GB004 Family Data Sheet, 2010
3. Toshiba Corporation) SD Group (Panasonic, SanDisk Corporation. *SD specifications Part 1 physical Layer Simplified Specification Version 2.00*, September 2006
4. J.M. Alvarado Reyes and C.E. Stern Forgach. Un complemento al teorema de nyquist. *Revista Mexicana de Física*, 56:165–171, 2010
5. RS Pro. Piezo Electric Transducer 15Vpp. 2007

Plataforma Automatizada Para Monitoreo Cardiaco en Ratones

H. A. Canul-Irigoyen¹, C. A. Ku-Maldonado¹, E. Molino-Minero-Re²,
N. Hevia-Montiel², A. P. Haro-Álvarez³

¹Instituto Tecnológico de Mérida, Mérida, YUC, 97118, MX

²Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas Sede Mérida - UNAM,
Sierra Papacal - Chuburna, YUC, 97302, MX

³CONACYT-Centro de Investigaciones Regionales “Dr. Hideyo Noguchi” Universidad
Autónoma De Yucatán, Mérida, YUC, 97225, MX

alberto.0139@hotmail.com

carlosakm94@gmail.com

erik.molino@iimas.unam.mx

nidiyare.hevia@iimas.unam.mx

paulina.haro@correo.uady.mx

Resumen. Actualmente se realizan investigaciones biomédicas en ratones, en donde es necesario llevar un control de sus señales fisiológicas para el análisis y detección de ciertas patologías que afectan al ser humano. Dentro de las señales fisiológicas mayormente estudiadas se encuentra la señal eléctrica del corazón. Para esto surge la necesidad de crear equipo especializado para la detección y monitoreo de estas señales. Existen diversas opciones en el mercado que presentan costos elevados, que en muchas ocasiones no nos brindan la capacidad de la adquisición cruda de los datos. En este trabajo se presenta una propuesta de validación de un sistema de adquisición de señales electrocardiográficas de bajo coste para el uso en ratones, adaptable y configurable a las necesidades del usuario, en una plataforma computacional abierta, capaz de almacenar, procesar y visualizar la información.

Palabras clave. Monitoreo cardiaco, Adquisición de datos, Bajo Coste, Roedores.

1 Introducción

Uno de los modelos animales por excelencia en la investigación biomédica han sido los roedores. Este modelo de estudio ha demostrado ser útil para realizar evaluaciones fisiológicas, investigaciones sobre patofisiología y pruebas pre-clínicas enfocadas al estudio de un gran número de patologías que afectan al humano. Una de sus ventajas es que tienen su similitud con la genética humana y además cuentan con un metabolismo acelerado por lo que es posible llevar a cabo estudios en un tiempo menor [1].

El modelo murino ha sido ampliamente utilizado para el estudio de anomalías y enfermedades que afectan al corazón. Debido a ello, surge la necesidad de crear un equipo especializado para la evaluación de la función cardiaca, con la capacidad para poder captar cambios en las señales originadas en el corazón [2]. Con la ayuda del monitoreo cardiaco por medio de electrocardiografía podemos visualizar la señal eléctrica del músculo cardíacos. También es útil para estudiar el efecto de ciertos

fármacos, para detección de patrones en condiciones de estrés, anomalías genéticas, patologías como infartos, arritmias y enfermedades infecciosas que afectan el sistema de conducción cardíaco como Chagas, entre otras. Implementar estos instrumentos conlleva a un reto importante debido a la delicadeza de los sujetos y su pequeño tamaño. Por un lado, se encuentra la anatomía de los ratones, estos suelen ser muy frágiles a la hora de manipularlos y suelen ser muy nerviosos. Del otro lado, tenemos el contacto con los electrodos ya que los ratones al no estar anestesiados, suelen estar en constante movimiento, esto hace que las lecturas no sean totalmente claras. Con esto podemos decir que la creación de estos equipos requiere de un diseño y construcción específico para poder obtener datos de calidad y salvaguardar la vida del sujeto.

Existen dispositivos para obtener las señales eléctricas del corazón basados en la tecnología de telemetría. Pero este método se considera invasivo pues requiere de colocar implantes subcutáneos mediante técnicas quirúrgicas a los modelos de estudio. El electrocardiograma mediante electrodos de contacto ha demostrado ser uno de los métodos de monitoreo menos invasivos a la hora de recabar estas señales, gracias a la medición de los biopotenciales generados sobre la superficie cutánea. En el mercado actual podemos encontrar productos como el Monitor de Cirugía para Roedores de la empresa INDUS Instruments [3] y ECGenie de la empresa MouseSpecifics Inc [4], o igualmente existen trabajos de sistemas propuestos por institutos como, el Instituto Nacional de Cardiología “Ignacio Chávez” [5] y del Instituto de Miología del INSERN [6].

En este trabajo se propone diseñar un prototipo experimental de sistema de monitoreo cardíaco configurable y adaptable a las necesidades del usuario, de bajo coste, capaz de adquirir, almacenar y visualizar las señales cardíacas en un formato abierto para su posterior análisis con software de la preferencia de los usuarios. Este prototipo experimental está compuesto en un circuito de electrocardiograma basado en el amplificador de instrumentación INA128P comunicado por medio de tecnología Arduino a una interfaz programada en LabVIEW para su adquisición, visualización y almacenamiento.

2 Metodología

Para las pruebas con modelo vivo, se emplearon un ratón macho y un ratón hembra de la cepa ICR de 8 y 11 semanas de edad y 30 gr. de peso. Los animales fueron obtenidos del Bioterio del Centro de Investigaciones Regionales Dr. Hideyo Noguchi de la Universidad Autónoma de Yucatán y manejados siguiendo la Norma Oficial Mexicana NOM-ZOO-062 y la Guía para el cuidado y uso de animales de laboratorio en su octava edición. Los animales fueron anestesiados utilizando la combinación de Xilacina 10 mg/kg y 100 mg/kg de Ketamina vía intramuscular. Una vez en plano anestésico, se colocaron de cúbito supino y se fijaron sobre un tapete para aislar a los animales de la superficie. Posteriormente, se colocaron electrodos en sus extremidades anterior derecha e izquierda y posterior derecha. Se aplicó gel para mejorar el contacto entre electrodos. Se realizó la adquisición de las señales eléctricas del corazón para su posterior análisis.

Para llevar a cabo el diseño del sistema se eligió la tarjeta de desarrollo Arduino Uno que cuenta con un puerto para la adquisición de señales y su relativa facilidad de configuración. La electrónica de instrumentación para conectar los electrodos se basa

en un amplificador diferencial de instrumentación (INA128P), el cual está conectado al Arduino. Por último, la etapa con la interfaz de usuario se desarrolló en el entorno de LabVIEW gracias a las ventajas de su intuitiva programación y la facilidad de generar un ejecutable.

Las características de configuración del sistema se definieron de acuerdo con los parámetros fisiológicos que presenta un roedor en una situación de estrés, con esto se garantiza que el sistema es capaz de operar en una amplia gama de condiciones. El ritmo cardíaco de un roedor puede oscilar desde los 350 pulsos por minuto hasta los 800 latidos por minuto, este último en situaciones de estrés o manipulación [7, 12-13]. La frecuencia de muestreo debe ser por lo menos el doble de la frecuencia máxima de la señal [8], por ello, para conocer este valor se obtuvo la Transformada de Fourier de una señal de ECG a 1000 pulsos por minuto, dándonos como resultado una frecuencia máxima de 200 Hz. Asimismo, esta señal se debe amplificar para que se ubique dentro del rango de 0 a 5 V para aprovechar el rango dinámico del convertidor analógico-digital (CAD). Finalmente, los datos digitalizados se transmiten a una PC a través del puerto serie UART del Arduino, a una velocidad de 1 Mbps.

El sistema está compuesto por los siguientes módulos:

- 2.1 Adquisición de datos:** El CAD del Arduino Uno es capaz de trabajar a una frecuencia de muestreo máxima de 125 kHz con la máxima resolución de 10 bits [9]. Para que esto sea posible se deben implementar instrucciones de bajo nivel en conjunto con el entorno de desarrollo Arduino. El convertidor fue configurado para tener una adquisición en modo continuo. Dado que cada conversión ocupa 10 bits, para transmitir los datos por el puerto serie entre el Arduino y la PC se definió un formato especial compuesto por dos bytes, donde 5 bits se colocan en el primer byte y los otros 5 bits en el segundo byte, agregando un bit identificador para poder reconocer el orden de estos [10], podemos observar un ejemplo en la Fig.1 (A y B).
- 2.2 Interfaz de Usuario:** Este módulo se desarrolló con el software de instrumentación virtual LabVIEW, en el cual se realiza el proceso de recepción y reconstrucción de los datos. La interfaz cuenta con cuatro controles: (a) Control de Selección de puerto; (b) Control de Inicio; (c) Control de Guardado; y (d) Control de Detener.

Al adquirir los datos el programa lee lo que recibe en el puerto serie y lo despliega para su visualización en tiempo real. Durante esta visualización, se cuenta con una opción de guardado, la cual almacena todos los datos leídos por el puerto serie a partir del momento en que esta opción se active. Esto da la opción de no guardar todos los datos adquiridos por el Arduino Uno, sino sólo los que se consideran relevantes para el estudio.

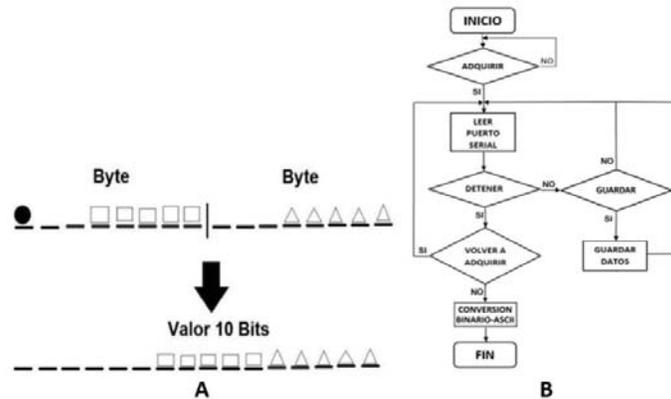


Figura 1. (A) Esquema de reacomodo de bits. (B) Diagrama de flujo: lógica de adquisición.

Los datos se almacenan en archivos específicos cuyo nombre se solicita al momento de iniciar el programa, se guardan en un archivo tipo binario. Los datos también se pueden convertir a formato ASCII al término de la etapa de visualización. También se puede crear un archivo Excel. El programa puede reiniciar la adquisición en cualquier momento con un nuevo nombre para el siguiente archivo, ya que, de poner el mismo nombre al archivo, los nuevos datos se anexan a los anteriormente guardados. Si no se desea adquirir nuevos datos, se finaliza el programa.

Se optó por guardar los datos en binario debido a que ocupan menos espacio y permiten una alta velocidad de transmisión entre la lectura del puerto serie y el guardado de datos en el archivo. El archivo Excel es útil para la manipulación de los datos por parte del usuario, ya que facilita la visualización y graficación de estos, para diversos tipos de estudios.

2.3 Circuito Electrónico ECG: Este módulo se basa en el amplificador de instrumentación INA 128P [11, 14], consta de las siguientes etapas:

- I. Etapa de amplificación. Esta recibe la señal obtenida de los electrodos, ingresa al amplificador de instrumentación que nos ofrece un rechazo al modo común de 120 dB a 200 kHz con una ganancia de 100.
- II. Filtro pasa banda. Este es un filtro activo con frecuencias de corte de 1.59 Hz – 198 Hz.
- III. Etapa de amplificación. Amplificador con ganancia de 150.
- IV. Ajuste de offset para CAD.

3 Resultados y discusión

Las distintas etapas de construcción del sistema se validaron primero por partes en el laboratorio de electrónica y procesamiento de señales del Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, sede Mérida (UNAM), generando señales artificiales controladas. Para ello se programó en el generador de funciones una señal

sintética ECG a una frecuencia equivalente a 1000 ppm, con la cual se hicieron pruebas de adquisición, Fig. 2 (A). Se compararon los datos obtenidos por el sistema con los obtenidos por un osciloscopio GDS-1102B de la marca GW INSTEK. Se concluyó con un funcionamiento correcto del sistema. Posteriormente se validó el sistema de adquisición junto con la interfaz de usuario para visualización en LabVIEW. Los datos adquiridos se revisaron en la PC utilizando un visualizador de tablas de datos.

Pruebas en condiciones reales con un ratón. El prototipo fue probado en el Laboratorio de Parasitología del Centro de Investigaciones Regionales “Dr. Hideyo Noguchi” de la UADY, para verificar su desempeño en una situación real, Fig. 2 (B). Los ratones se anestesiaron para su manipulación, Fig. 2 (C).

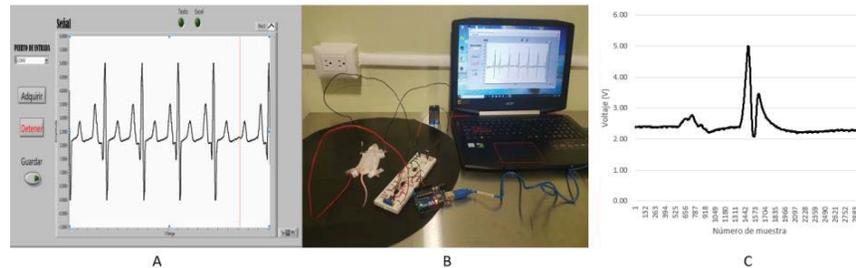


Figura 2. (A) Señal ECG artificial simulada por generador de funciones a 1000 ppm, visualización en el sistema. (B) Prototipo experimental en prueba con sujeto real. (C) Señal cardíaca de sujeto real adquirida por el sistema.

Los datos adquiridos por el sistema, tanto de datos sintéticos como reales, muestran congruencia con los datos conocidos de electrocardiogramas de ratones. Esto muestra que presenta un funcionamiento correcto. Por otra parte, el sistema resultó ser relativamente económico debido a los componentes que lo conforman.

Los resultados muestran que es posible disponer de un prototipo experimental compacto, de bajo costo y funcional, que sea capaz de configurarse y adaptarse a las necesidades del usuario con la facilidad de generar información de datos crudos para su uso y procesado en software de mayor conveniencia.

La capacidad de configuración ofrece una gran flexibilidad para poder procesar los datos en distintos softwares de análisis, tanto comerciales como de distribución gratuita, que a diferencia de los equipos que podemos encontrar en el mercado, que se limitan a sus programas de análisis y formatos de desarrollo propios para el manejo y estudio de los datos adquiridos.

4 Conclusión

En este trabajo se presenta la propuesta de un sistema de electrocardiografía configurable y adaptable, cuyos componentes son relativamente económicos. El sistema descrito se diseñó principalmente para el monitoreo cardíaco de roedores, si bien no se descarta que pueda aplicarse a otros seres. La electrónica del sistema está

basada en la tecnología Arduino comunicada a la visualización y almacenamiento en LabVIEW. Los datos se pueden almacenar en distintos formatos, como binario y tablas ASCII. El sistema ha sido validado con datos sintéticos y con datos reales, utilizando dos ratones.

Agradecimientos.

Proyecto apoyado por el CONACyT (Ref: 2015-01-102).

Referencias

1. James G. Fox., Stephen Barthold., Muriel Davisson., Christian E. Newcomer, Fred W. Quimby, Abigail Smith.: *The Mouse in Biomedical Research: Diseases*. 2nd edn. Elsevier. United States of America. (2007).
2. James G. Fox., Stephen Barthold., Muriel Davisson., Christian E. Newcomer, Fred W. Quimby, Abigail Smith.: *The Mouse in Biomedical Research: History, Wild Mice, and Genetics*. 2nd edn. Elsevier. United States of America. 2007.
3. INDUS Instruments sitio web. Disponible en: <http://indusinstruments.com/products/rodent-surgical-monitor/>
4. MouseSpecifics, Inc sitio web. Disponible en: <https://mousespecifics.com/heart-monitoring/ecgenie/>
5. Pedro L. Flores Chávez., Oscar Infante Vázquez., Gustavo Sánchez Torres., Raúl Martínez Memije., Genaro Rodríguez Rossini.: Detección de signos vitales en ratas mediante métodos no invasivos. *Veterinaria México*, Vol. 33, no. 2, pp. 179-187, Jan (2002).
6. H. Mongue-Din., A. Salmon., M. Y. Fiszman and Y. Fromes.: Non- invasive restrained ECG recording in conscious small rodents: a new tool for cardiac electrical activity investigation. *Pflügers Archiv - European Journal of Physiology*. vol. 454. pp. 165-171, Jan. (2007).
7. James G. Fox., Stephen Barthold., Muriel Davisson., Christian E. Newcomer., Fred W. Quimby., Abigail Smith.: *The Mouse in Biomedical Research: Normative Biology, Husbandry, and Models*. 2nd edn. Elsevier. United States of America. (2007).
8. B. Meddins.: *Introduction to Digital Signal Processing*. Butterworth-Heinemann Linacre House. pp. 54-55. (2000).
9. ATmega328/P DATASHEET COMPLETE. ATmega. CA. pp. 305-326. (2016).
10. Ricky Wong Yung Fei.: *Arduino Forum-Using Arduino: Sensors*. Disponible en: <http://forum.arduino.cc/index.php?topic=81703.0>, último acceso: 2011/12/09.
11. Bernd Porr. (2005-2013). *The Biosignal How-To*. Disponible en: <http://biosignals.berndporr.me.uk/doku.php>
12. Y. Zhang., J. J. Wu., J. H. King., C. L. H. Huang and J. A. Fraser.: Measurement and interpretation of electrocardiographic QT intervals in murine hearts. *American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology*. vol. 306. no.11. pp. 1553-1557. Apr. (2014).
13. S. Kaese and S. Verheule.: Cardiac electrophysiology in mice: a matter of size. *Frontiers in Physiology. Cardiac Electrophysiology*. vol. 3. pp. 345. Sep. (2012).
14. C. A. Ku., E. Molino., N. Hevia. Validación de un Sistema de Monitoreo Cardíaco de Bajo Coste Para Estudio en Ratones presentado en el XL Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica, Monterrey, NL, (2017).

Diseño e implementación para el control de sensores a través de un instrumento virtual con Arduino

J. Hernández¹, P. Méndez², I. S. Domínguez²

¹ Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), Facultad de Matemáticas. Yucatán, México
Lissette.HernandezN@gmail.com

² Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas (IIMAS) Sede Mérida
Universidad Nacional Autónoma de México-Unidad Académica Yucatán. Yucatán, México
israel.sanchez@iimas.unam.mx
erick.mendez@iimas.unam.mx

Resumen. El presente trabajo muestra el diseño e implementación de un sistema de adquisición y monitoreo de variables pH, temperatura, oxígeno disuelto y reducción-oxidación en el agua. Los sensores son interconectados en una plataforma Arduino UNO que realiza la adquisición, procesamiento y acondicionamiento de los datos. Una interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW se comunica con el Arduino a través del puerto Ethernet para el monitoreo de las variables en un ambiente gráfico.

Todas las variables serán consideradas a partir de niveles idóneos para el funcionamiento de su aplicación final (tanques acuícolas). Donde al llevar a cabo el procesamiento de las variables físicas vía la plataforma Arduino y posteriormente mediante la programación en LabVIEW, se consigue expresar de forma gráfica, disponiendo de una alarma la cual alerta cuando alguna medición se encuentre fuera de los rangos establecidos por el usuario.

Palabras clave: Arduino, LabVIEW, adquisición de señales, procesamiento de señales.

1 Introducción

En la actualidad, analizar el agua ya sea para potabilización, tratamiento o cualquier otro uso de la misma, es necesario medir las variables fisicoquímicas que ayuden a mantener la calidad y características requeridas para el uso establecido; lo que permitirá la toma de decisiones basados en datos confiables, de manera ágil, y en un tiempo de respuesta adecuado.

Uno de los principales problemas que se tiene en los sistemas de adquisición comerciales es que no todos cumplen con los requerimientos del usuario final o que no son ad-hoc para los requerimientos puntuales de medición. Lo que da cabida a la creación de sistemas de adquisición específicos para las variables deseadas, permitiendo cumplir los requerimientos del usuario y sus posibles modificaciones desde el punto de vista

tecnológico. También permite la autonomía y garantía de las mediciones de forma concreta con un porcentaje de confiabilidad y repetitividad alto, más una escalabilidad tecnológica en Software y Hardware.

2 Metodología

El diseño es capaz de adquirir señales físicas, llevar a cabo su procesamiento y poder representar su valor alfanumérico, así como gráficamente.

La figura 1 muestra el diagrama del sistema de adquisición de datos, para que las señales puedan ser monitoreadas en una interfaz.

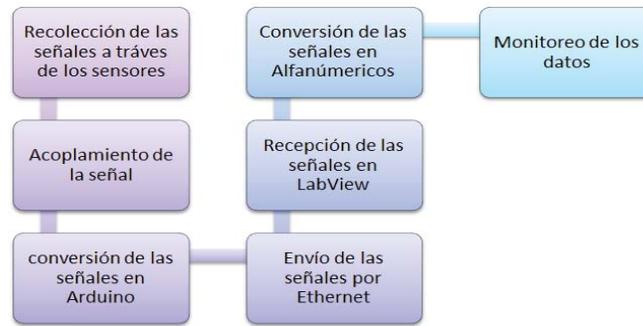


Fig. 1. Diagrama de adquisición de las señales

En el presente trabajo se usó el siguiente Hardware:

- ❖ Sensor de temperatura ds18b20
- ❖ Sensor pH Meter Sen0161
- ❖ Sensor de ORP de Atlas Scientific
- ❖ *Sensor de oxígeno disuelto de Atlas Scientific*
- ❖ Módulo Ethernet ENC28J60
- ❖ *Arduino Uno*

El flujo de información es el siguiente: El Arduino captura los datos requeridos para ser procesados, posteriormente, los datos son enviados al programa LabVIEW donde los valores son procesados para el monitoreo de las variables.

Para la recolección de las señales a través de los sensores se tiene que:

- Sensor temperatura: es un sensor digital que utiliza el protocolo OneWire para comunicarse, este protocolo permite enviar y recibir datos utilizando un solo cable [1].
- Sonda de pH: El sensor seleccionado es un elemento pasivo que detecta una pequeña corriente eléctrica generada por la actividad de los iones de Hidrógeno [2].

- Sonda de oxígeno disuelto: es un dispositivo pasivo que genera un pequeño voltaje de 0mV a 47mV dependiendo de la saturación de oxígeno de la membrana de detección de HDPE (High Density Polyethylene) [3].
- Sonda de ORP (*Oxidation-Reduction Potential*): es un dispositivo pasivo que detecta voltajes pequeños generados en el agua ionizada [4].

En la etapa de acoplamiento las mediciones de los sensores pasan por un circuito para ser convertidas en señales digitales:

- La sonda de pH se conecta a un circuito acoplador PH meter V1.1.
- La sonda de oxígeno disuelto y la sonda ORP se conectan utilizando un conector BNC a un circuito llamado “EZO D.O. Circuit” y “EZO ORP Circuit” respectivamente, que están diseñados para convertir la señal analógica en digital y luego enviarla por puerto serial mediante los pines de RX y TX que posee, mediante el protocolo I2C.

Conversión Analógico/digital-digital/digital: las señales digitalizadas son recibidas y procesadas por el Arduino.

Envío-recepción: El Arduino empaqueta las señales y son enviadas a través del puerto Ethernet mediante el protocolo TCP/IP.

Conversión alfanumérica: los datos llegan en forma de bytes y son convertidos a una cadena con los valores alfanuméricos de cada una de las variables separadas por un salto de línea.

Monitoreo: para poder ser visualizados gráficamente es necesario convertir la cadena con los valores de la señal a un número Punto Flotante de Doble Precisión.

La figura 2 muestra el esquema de conexión del hardware empleado para la adquisición de las señales.

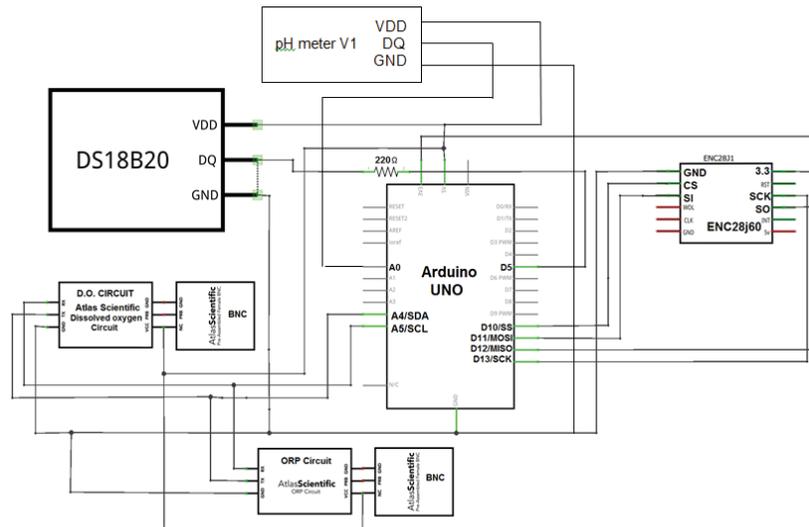


Fig. 2. Circuito de conexión del Hardware

3 Interfaz de usuario

Para el desarrollo del programa en LabVIEW, primeramente, se realizó el enlace entre el programa y el Arduino con el objetivo de recibir los datos, la manera que se comunican es a través del puerto Ethernet utilizando el protocolo TCP/IP. En la figura 3 se presenta el segmento de código en LabVIEW para entablar la comunicación entre Arduino y LabVIEW.

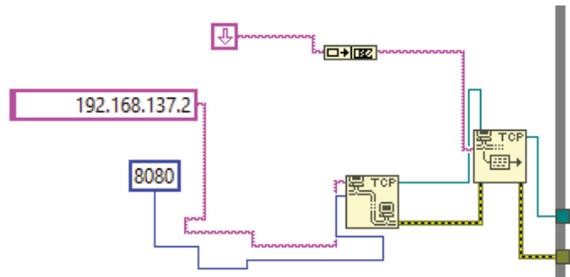


Fig.3. Diagrama de bloques en LabVIEW para la comunicación Ethernet con el Arduino

Los datos enviados desde el Arduino hacia LabVIEW llegan en forma de bytes, en la figura 4 se muestra que LabVIEW espera 2500 ms(milisegundos) para que los datos sean recibidos, determinando que el número de bytes a leer sea un máximo de 100, con el modo de comportamiento de lectura CR/LF(carriage return/line feed) especificando que tendrá que esperar a leer todos los bytes que lleguen o hasta que la función reciba un CR seguido de un LF o hasta que se termine el tiempo de espera, el valor que devuelve dicha función es una cadena.

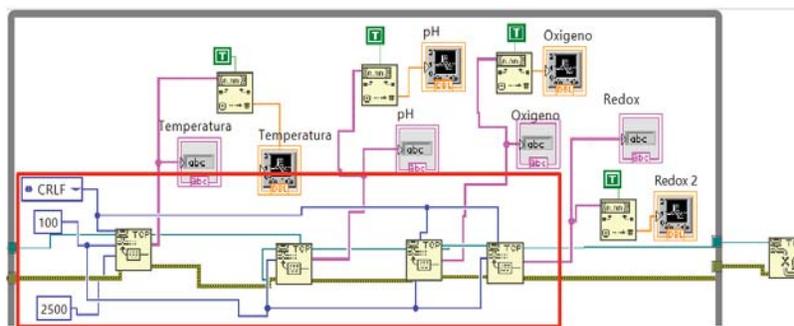


Fig. 4. Conversión de datos a cadenas con valores alfanuméricos en LabVIEW

4 Resultados

Para la realización de las pruebas de comunicación y funcionamiento del sistema, además para efectos de monitoreo en el área de acuacultura se hizo el montaje en una boya, en donde se conectaron los cuatros sensores y la tarjeta de red al Arduino y a su vez a la computadora.

También se llevaron a cabo las calibraciones correspondientes de cada sensor. Para el monitoreo de los datos de los sensores en el PC; se creó una interfaz que adquiere y despliega las variables formato numérico como se muestra en la figura 5.

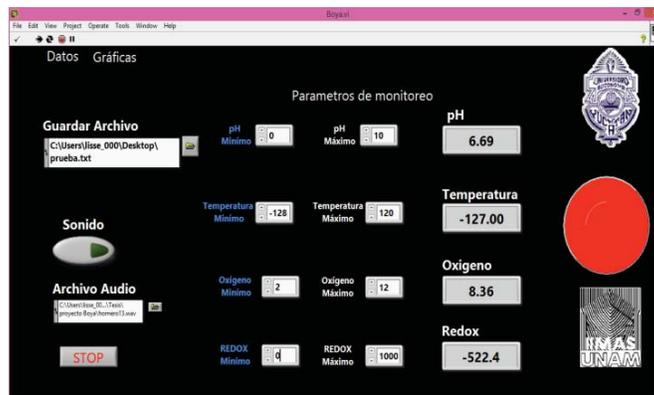


Fig.5. Pantalla principal de la interfaz

La interfaz también cuenta con el despliegue de las gráficas de los valores obtenidas de los sensores, además de poder crear un valor constante que sirve para monitorear la variación de las variables alrededor de dicho valor, como se ilustra en la figura 6.

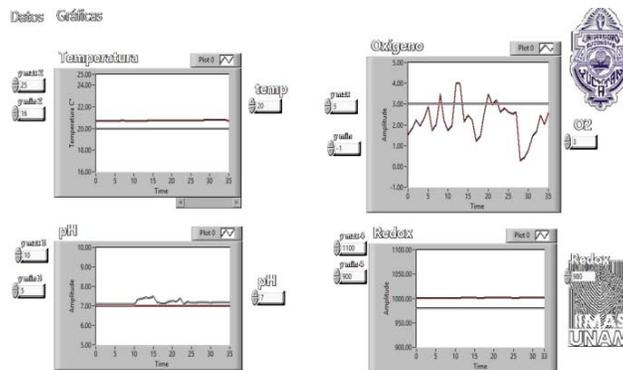


Fig.6. Gráficas de los valores adquiridos por los sensores

En la figura 7 se muestra funcionando la interfaz, donde se obtuvieron las mediciones correspondientes un tanque de acuicultura. Las pruebas fueron realizadas bajo la supervisión del Dr. Juan Carlos Maldonado Flores, encargado del área de nutrición en la Unidad Académica de la UNAM en Sisal.



Fig.7. Pruebas en estanque acuícola

5 Conclusiones

La utilización de dispositivos embebidos y sistemas de desarrollo ingenieril (Arduino y LabVIEW) permitió darle al sistema una mayor autonomía, robustez, confiabilidad y repetitividad a sistemas de adquisición, garantizando con ello el correcto funcionamiento de los sensores empleados que cumplen los requerimientos del usuario final.

Las pruebas de cada uno de los sensores, permitieron demostrar que era factible trabajar con todos a la vez, sin riesgos de entrar en conflicto, ya sea con el Arduino o al momento de enviar las señales a LabVIEW.

La interfaz permite mostrar las mediciones de los cuatro sensores de forma alfa numérica como gráfica permitiendo tener un histórico de las mediciones realizadas.

Actualmente, este trabajo cuenta con un prototipo beta, capaz de funcionar in vivo, en una granja acuícola de pequeña escala, también la interfaz podrá generar un historial que permitirá al usuario hacer uso de este cuando lo necesite.

Referencias

1. Maxim Integrated. (s.f.). Recuperado el 20 de Enero de 2017, de: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
2. DFROBOT. (11 de Marzo de 2017). *Robot Wiki*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2016, de: [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH_meter\(SKU:_SEN0161\)](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH_meter(SKU:_SEN0161))
3. Scientific, A. (8 de Septiembre de 2016). Recuperado el 20 de Noviembre de 2016, de: http://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_probe/DO_probe.pdf
4. Atlas Scientific. (27 de Julio de 2017). Recuperado el 25 de Agosto de 2017, de Atlas Scientific: https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_circuit/ORP_EZO_datasheet.pdf

Implementación de un sistema de reconocimiento de patrones para clasificar señales de espectro Doppler.

Ismael de J. Ávila Uc¹, Nidiyare Hevia-Montiel², Erik Molino-Minero-Re³ y Paulina Haro⁴

¹Facultad de Matemáticas, Universidad Autónoma de Yucatán, México.

²Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, sede Mérida, Universidad Nacional Autónoma de México.

³CONACYT-Centro de Investigaciones Regionales Dr. Hideyo Noguchi, Universidad Autónoma de Yucatán.
aveusholmes@gmail.com

Resumen. La implementación de técnicas de clasificación en diversas áreas de la ciencia como la medicina, han sido de gran ayuda al momento de clasificar diversas señales de espectro Doppler obtenidas del cuerpo humano, en especial aquellas señales que pertenecen al flujo sanguíneo y a las válvulas cardíacas. Obtener señales Doppler en regiones específicas, permiten a un especialista realizar un diagnóstico sobre la salud de un paciente. En el siguiente trabajo se implementa un sistema de reconocimiento de patrones que permite reconocer y clasificar diversas señales provenientes de válvulas cardíacas y del flujo sanguíneo obtenidas a través de señales Doppler. En el sistema se implementaron dos algoritmos de clasificación no supervisado: mapas auto organizados y k medias. La intención de implementar dos algoritmos fue medir el rendimiento de clasificación de cada uno, y emitir una respuesta de qué algoritmo es mejor en base a la sensibilidad, especificidad y precisión de cada algoritmo.

Palabras claves: Espectro Doppler, mapas auto organizados, k medias.

1 Introducción

El diagnóstico mediante ultrasonido es una técnica muy bien establecida y ampliamente utilizada en casi todas las áreas de la medicina [1]. Diversas técnicas de ultrasonido empleadas por médicos, en especial aquellas que son obtenidas mediante señales Doppler, han sido de gran utilidad al momento de analizar el flujo sanguíneo en diversas regiones del cuerpo.

Las señales Doppler obtenidas por medio del ultrasonido, permiten de manera robusta y confiable, estimar parámetros y extraer información clínicamente útil [2]. Los análisis de la señal le permiten a un experto diagnosticar y pronosticar aspectos sobre la salud de un paciente.

No obstante, siempre es requerido el conocimiento de un especialista cuando se analiza la señal Doppler obtenida, y para el experto estar disponible las 24 horas para realizar la tarea del análisis, puede convertirse en algo tedioso. Ante esta situación se han desarrollado algoritmos que agrupan diferentes señales Doppler de flujo

sanguíneo con patrones similares de la señal registrada, con el fin de facilitar al experto la lectura del diagnóstico. Los tipos de algoritmos que pueden implementarse en esta clase de diagnósticos, son los no supervisados basados en agrupamientos [3]. Con el propósito de hacer un análisis eficiente y confiable, sin que dependa de la presencia constante de un especialista, se implementó un sistema que permita caracterizar distintas señales de vasos sanguíneos y válvulas cardiacas. En el sistema desarrollado se implementaron dos tipos de algoritmos de aprendizaje no supervisado: k medias y mapas auto-organizados (en inglés SOM Self organized maps).

2 Materiales y Métodos

2.1 Base de datos.

Ante la implementación de algoritmos para clasificación y seguimiento de estudios Doppler se optó por trabajar con ratones para el análisis de cardiopatías y periféricos. Si bien su aspecto exterior es totalmente distinto al de los humanos, las similitudes genéticas son asombrosas. El genoma de un ratón tiene más del 95% de coincidencia con el del humano.

Los ensayos en animales se realizaron en el Laboratorio de Parasitología del Centro de Investigaciones Regionales Dr. Hideyo Noguchi de la Universidad Autónoma de Yucatán, ubicado en la ciudad de Mérida. Los animales fueron manejados siguiendo las recomendaciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-ZOO-062 y la Guía para el cuidado y uso de animales de laboratorio en su octava edición.

Se emplearon dos ratones una hembra, una de 8 y otra de 10 semanas, ambas de la cepa ICR, con 30gr de peso cada una. Los ratones fueron anestesiados utilizando la combinación de Xilacina 10mg/kg y Ketamina 100mg/kg administrada vía intramuscular. Los animales fueron colocados decúbito supino sobre una plataforma de monitorización quirúrgica (Mouse monitor de la marca INDUS) que permite mantener la temperatura a 37 °C y monitorizar las constantes fisiológicas durante la anestesia tales como frecuencia cardiaca y respiraciones por minuto. Para obtener las señales Doppler de válvulas cardiacas se empleó el equipo Doppler velocity system de la marca INDUS. Se utilizó un transductor de 20 MHz para obtener la señal de válvulas cardiacas y un transductor de 10 MHz para obtener señales de vasos sanguíneos periféricos. Se registraron 5 clases de señales Doppler: válvula aórtica, mitral, arteria renal derecha e izquierda y la señal de onda de pulso PWV (por sus siglas en inglés).

Se obtuvieron un total de 51 muestras, de las cuales se utilizó el 80% de ellas como entrenamiento para los dos algoritmos, y el otro 20% como pruebas para comprobar la eficiencia de clasificación de los algoritmos.

2.2 Métodos

2.2.1 K medias

K medias es un algoritmo de agrupamiento utilizado en el aprendizaje no supervisado, el cual es usado cuando se tienen datos no etiquetados. La meta de este

algoritmo es la partición de los datos en k grupos. El algoritmo trabaja iterativamente para asignar cada dato a un grupo k , basado en las características similares. Los objetivos del algoritmo de k medias son:

1. Encontrar los centros de los k -grupos
2. Asociar cada muestra a un k -grupo

El algoritmo de k medias consta de los siguientes pasos y puede visualizarse en la Fig. 1:

1. Declarar el número de centros c , e inicializarlos. Para ellos se recomienda seleccionar centros aleatorios dentro de las muestras de entrenamiento.
2. Obtener la distancia de todas las muestras con cada centro y almacenarlos en una matriz.
3. Asociar cada muestra por grupos, en base al centro más cercano. Esto se logra con la matriz obtenida en el paso 2.
4. Promediar cada grupo para obtener el centro nuevo, y sustituirlo por el anterior.
5. Seguir los pasos del 1 al 4, hasta que converja la función de costo.

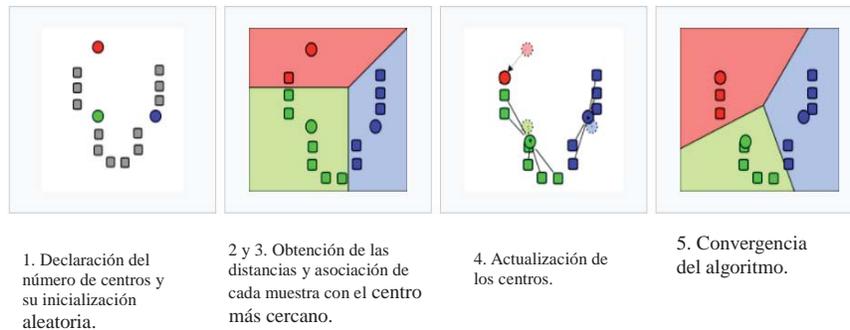


Fig. 1. Pasos a seguir en el algoritmo de k medias.

2.2.2 Mapas Auto Organizados (SOM, Self Organizing Map)

La red SOM es un método por agrupamiento evolutivo utilizado en el aprendizaje no supervisado que hace el uso de Redes Neuronales Artificiales, muy útil para problemas de agrupamiento de datos. Este algoritmo mide distancias entre los datos, formando grupos o cúmulos a través de la localización de un centroide por cada grupo.

Kohonen (1982) propuso el modelo neuronal de la red SOM con el objetivo de demostrar que, a partir de estímulos externos o datos de entrada de espacios multidimensionales, la estructura propia de la red artificial puede describir y proyectar la información abstraída en los estímulos, organizando datos de salida en un mapa bidimensional. [4]

Un modelo SOM está compuesto por dos capas de neuronas:

1. La capa de entrada (formada por N neuronas, una por cada variable de entrada), encargada de recibir y transmitir a la capa de salida la información procedente del exterior.
2. La capa de salida (formada por M neuronas), cuya función es procesar la información.

En la Fig. 2 representa de manera intuitiva la estructura del modelo de la Red (SOM).

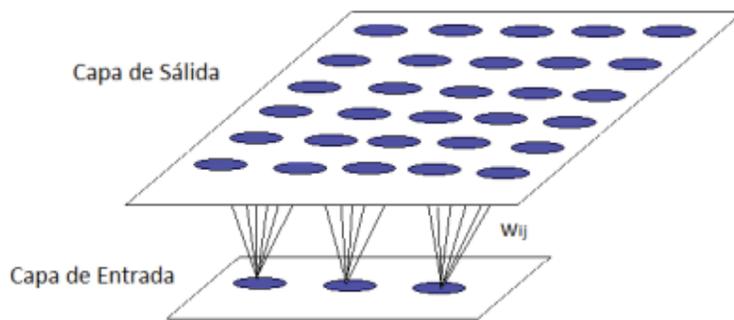


Fig. 2. Estructura básica de una red neuronal tipo SOM.

2.3 Implementación Computacional.

Para la implementación de los dos algoritmos de aprendizaje no supervisado, se utilizó como herramienta de apoyo el software de MatlabR2015B, debido a la facilidad de su uso, así como la implementación y programación de interfaces y algoritmos. Matlab es un lenguaje de cálculo técnico, cuyo entorno de programación está orientado para el desarrollo de algoritmos, el análisis y la visualización de datos y el cálculo numérico.

2.4 Descriptores

Para obtener datos característicos de cada señal se emplearon 8 descriptores: Media, Varianza (Var), Sesgo, Curtosis (Cur), uniformidad (Uni), raíz media cuadrática (RMC), máximo valor (VMax), mínimo valor (VMin) El empleo de estas características para cada una de las 5 diferentes señales obtenidas de la base de datos se pueden ver en la Tabla 1.

Tabla 1. Descriptores de las 5 señales diferentes.

Señal	Media	Var	Sesgo	Cur	Uni	RMC	VMin	VMax
Aórtica	22.881	96.701	1.300	3.352	29.810	38.607	-27.640	103.990
Mitral	12.269	109.749	0.314	3.352	24.959	35.326	-46.650	102.810
PWV	74.153	694.787	1.203	2.787	248.925	111.562	5.370	275.040
Renal Derecha	41.731	48.500	1.918	6.265	44.530	47.186	0	133.840
Renal Izquierda	41.731	73.331	1.842	5.695	71.305	59.710	13.550	155.380

No obstante, hay descriptores que no permiten hacer distinción entre las señales como son el sesgo y la curtosis. Ante la problemática de seleccionar descriptores que permitan hacer distinción entre las señales, se seleccionaron 3 descriptores: Media, varianza y valor mínimo.

Se seleccionaron 41 muestras para el entrenamiento, 10 muestras para las pruebas y 18 muestras para clasificar.

3 Resultados

Ambos algoritmos fueron puestos en ejecución, y para medir su desempeño se hicieron dos tablas distintas (Tablas 2 y 3), en las que se visualizan las diferentes señales, junto con su sensibilidad, precisión y especificidad.

Tabla 2. Resultados para el algoritmo k medios.

Señal	Sensibilidad	Precisión.	Especificidad
Aorta	0.75	0.5	0.42
Mitral	0.5	0.6	0.5
PWV	0	0	0.6
Renal Derecha	0	0	0.52
Renal Izquierda	0.75	0.75	0.42

Tabla 3. Resultados para el algoritmo SOM.

Señal	Sensibilidad	Precisión.	Especificidad
Aorta	0.8	0.66	0.69
Mitral	0.5	0.6	0.83
PWV	1	1	0.70
Renal Derecha	1	0.5	0.70
Renal Izquierda	0.8	1	0.69

Después de comparar ambas tablas, el algoritmo de clasificación de mapas auto organizados presenta mayores valores en la sensibilidad, precisión y especificidad. Lo cual nos proporciona una clasificación de forma confiable y precisa, comparada con el algoritmo de k medias que proporciona unos bajos valores en la sensibilidad, precisión y especificidad.

4 Conclusiones

Ambos algoritmos presentados en este artículo fueron comparados y analizados, pero solo el algoritmo de mapas auto organizados es capaz de ofrecer una clasificación precisa y confiable. El sistema de reconocimiento de patrones para la clasificación de diferentes señales Doppler desarrollado, demuestra ser una herramienta de análisis y evaluación clínica útil y complementaria para el especialista, permitiéndole realizar un diagnóstico clínico y tomar una decisión.

Las señales obtenidas son provenientes del estudio de un ratón y los resultados de clasificación son favorables, no obstante este estudio es el punto de partida para mejorar y perfeccionar esta metodología, y no se descarta que pueda aplicarse a otros casos, como en los humanos.

Referencias

- [1]. F. García, E. Moreno, J. Solano, M. Barragán, A. Sotomayor, M. Fuentes, "*Sistema Doppler bidireccional para medición de flujo sanguíneo basado en una arquitectura abierta*", Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica, Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica, vo. 24, no. 2, pp. 135-143, septiembre, 2003
- [2]. D. Torres Guzmán, C. S. Carbajar Fernández, "*Mejora de la Señal de Flujo Sanguíneo en Implantes Coronarios Mediante la Detección de Distorsiones Eventuales*", Rev. mex. ing. bioméd, vol. 36, no.1, México, Abril, 2015.
- [3]. Dayan P., "*Unsupervised Learning*", pp. 1-7. Consultado el 26 de julio de 2013 en: <http://www.gatsby.ucl.ac.uk/~dayan/papers/n4/art05.pdf>
- [4]. Ana M. Gomez, "*Redes neuronales artificiales: The Self-Organizing Maps (SOM) para el reconocimiento de patrones*", Cuadernos de Estadística Aplicada, vol. 1, no. 1, enero-junio 2014

Implementación de un clasificador mediante el análisis computacional de reconocimiento de patrones aplicado en imágenes de otolitos de dos especies distintas de peces (mero y chac chi)

Javier Luna González¹, Nidiyare Hevia-Montiel², Erik Molino Minero Re² y María del Carmen Clemente Medina³

¹ Facultad de Matemáticas, Universidad Autónoma de Yucatán, México

² Instituto de Investigaciones Aplicadas y en Sistemas, sede Mérida, Universidad Nacional Autónoma de México, México

³ Departamento de Ingeniería de Comunicaciones, Universidad de Málaga, España

luj_p25@hotmail.com

Resumen. El presente artículo presenta la implementación de un clasificador de aprendizaje no supervisado aplicado a imágenes de otolitos de peces, específicamente, de las especies *Epinephelus marginatus* (Mero) y *Haemulon plumieri* (Chac-Chi) de la región de la Península de Yucatán, reconociendo a su vez de que lado anatómico del pez se trata, sagita del lado derecho e izquierdo. Se ha buscado hacer uso de descriptores morfológicos para obtener el espacio de características sobre las cuales se realizará la clasificación. Dicho clasificador se encuentra implementado en una interfaz gráfica que permite hacer un pre-procesamiento de las imágenes de entrada, así como tener control sobre el entrenamiento del algoritmo clasificador. Se muestra el desarrollo del trabajo de investigación, así como los métodos y herramientas computacionales que se utilizaron para desarrollar el clasificador. Al final, se muestra el resultado por medio de medidas de eficiencia que demuestran el funcionamiento del clasificador cuando se le aplicaron nuevas imágenes de entrada para su validación, donde se observó para este tipo de sagitas una clasificación al 100%, cabe mencionar que se trató de especies de peces con características morfológicas muy descriptivas de cada pez y diferentes entre sí.

Palabras clave: Morfología, Clasificadores, Otolitos, Descriptores discretos.

1 Introducción

El análisis computacional de imágenes es un área de gran impacto hoy en día. Muchas empresas e instituciones requieren de la automatización de sus sistemas de análisis de imágenes para facilitar sus procesos diarios; por ejemplo, en el área médica resulta útil contar con detectores automáticos de anomalías en imágenes de resonancia magnética o ultrasonidos; para una empresa puede ser útil contar con un sistema de autenticación por medio de rostros, huellas digitales o iris del ojo. Una parte clave para que estos sistemas lleguen a operar de forma automática es gracias a la

introducción de técnicas de reconocimiento de patrones en imágenes. Estos procesos permiten que el sistema asigne a un elemento “ x ”, una y sólo una clase “ y ”.

Ya se ha hablado de la aplicación de sistemas computacionales de análisis de imágenes en ciertas áreas. En Biología, el término *otolito* hace referencia a un componente sólido del sistema vestibular de ciertos organismos que les permite notar aceleraciones, direcciones de gravedad y mantenimiento de equilibrio. Para los peces, los otolitos vienen en pares (izquierdo y derecho) y representan una parte importante de su oído interno. Existen 3 tipos de otolitos: sagitta (saculus), lapillus (utrículus) y asteriscus (lagena); de las cuáles, la sagitta es la más utilizada para determinar la edad de los peces. El estudio de los otolitos en peces es de gran importancia para los investigadores en el área ya que son un importante agente de medición y control de las especies de peces que habitan en cierta área [1-3].

En este trabajo se describe la implementación de un método eficiente para la clasificación de dos especies de peces, el mero (*Epinephelus marginatus*) y el chac chí (*Haemulon plumieri*), basado en imágenes de sus otolitos izquierdos y derechos.

1.1 Objetivo general y objetivos específicos

El objetivo general del trabajo es desarrollar una interfaz gráfica que contenga un clasificador automático aplicado a otolitos de dos especies de peces (Mero y Chac Chi), capaz de reconocer la orientación de los mismos (otolito del lado derecho y otolito del lado izquierdo).

Dentro de los objetivos específicos se mencionan los siguientes: a) crear una base de datos confiable de otolitos para ambas especies de peces con ambas orientaciones de cada uno; b) diseñar y codificar una interfaz gráfica que permita procesar las imágenes de entrada; c) implementar un clasificador de aprendizaje no supervisado para las 4 clases de otolitos trabajados (Mero derecho, Mero Izquierdo, Chac Chi derecho, Chac chi izquierdo); d) medir la eficiencia del clasificador al probar éste con nuevas imágenes de otolitos de las clases tratadas.

1.2 Descriptores morfológicos

Para lograr la correcta clasificación de los otolitos, fue necesario utilizar varios descriptores de forma y su implementación como algoritmos de extracción de características, para encontrar una relación de patrones que permitiera la separación de los 4 grupos de otolitos manejados. A continuación se describen los 3 descriptores morfológicos empleados.

Firma de un objeto

Este descriptor de forma consiste en extraer el objeto de interés de una imagen, obtener su contorno ordenado, su centro de masa y calcular las distancias desde dicho centro hacia cada uno de los puntos del contorno para generar una curva que nos represente dicho objeto [4]. Esta característica sirvió para determinar la orientación del otolito, ubicando la posición del máximo absoluto de dicha curva.

Tortuosidad

La tortuosidad de un objeto, representa la medida de curvatura que contiene su contorno, es decir, que tan liso o irregular es dicho contorno basado en la medición de su ángulo de contingencia [5]. Es posible obtener varios parámetros de la tortuosidad (ángulo de contingencia, pendiente acumulada, entre otros), pero la que fue útil para este trabajo fue el valor de tortuosidad normalizado.

Relación de eje mayor y eje menor

Esta medida hace referencia a los ejes de la elipse que mejor se ajusta al objeto de interés, tomando en cuenta la orientación que ésta pueda tomar, es decir, su inclinación con respecto al plano cartesiano. La relación que se utilizó para este trabajo fue la siguiente:

$$r = \frac{b}{a} \quad (1)$$

donde “b” representa el eje menor y “a” el eje mayor.

1.3 Algoritmo de aprendizaje no supervisado

Para aprovechar las características descritas, se optó por emplear el algoritmo K medias para clasificar las imágenes de otolitos en los 4 grupos requeridos. El método empleado por este algoritmo es simple: dado un conjunto de “m” características de “n” elementos usados para entrenar el algoritmo y dado un número “p” de clases en las que se deseen agrupar los “n” elementos, se selecciona de manera aleatoria una ubicación inicial para los “p” centroides y se calcula la distancia euclidiana de cada elemento con respecto a cada centroide, después se realiza una asignación de clases a cada elemento según la menor distancia encontrada para uno de los “p” centroides. Posteriormente se realiza un promedio de los puntos clasificados en cada clase para hacer una reasignación del centroide de dicha clase; el proceso se repite hasta que dichos centroides no cambien de posición o dicho movimiento sea despreciable.

Por último, una vez que se tenga entrenado el algoritmo, se necesita un método para clasificar a las nuevas muestras que se deseen procesar. Se optó por una técnica más que sencilla: buscar la menor distancia euclidiana entre los centroides obtenidos del entrenamiento (con las mismas características y el mismo orden por supuesto).

2 Materiales y Metodología

La base de datos de otolitos que se utilizó para entrenar el algoritmo de clasificación fue construida mediante la colaboración de todos los alumnos de la asignatura optativa “*Temas Selectos de Análisis Computacional de Reconocimiento de Patrones*” del plan de estudios de la Licenciatura en Ingeniería en Computación de la Facultad de Matemáticas de la UADY y en colaboración con el IIMAS - Mérida de la UNAM. Se acordó que cada persona tendría que proporcionar 4 imágenes de otolitos, una por cada una de las clases descritas anteriormente, a partir de la cuáles se llevó a cabo la segmentación por umbralización la región del otolito y se hizo la detección de bordes como se muestra en la Fig. 1. El estándar que se adoptó para que todas las imágenes tuvieran la misma escena fue el siguiente: 20 mm por 25 mm de área de la escena

sobre una superficie color negro opaco, con el otolito centrado y cóncavo hacia arriba (en forma de “u”). Cada imagen, dependiendo la naturaleza del mismo, llevaría el siguiente formato de nombre: *ESPECIE_ORIENTACIÓN_ALUMNO.FORMATO*, donde *ESPECIE* = {*MERO*, *CHACCHI*}, *ORIENTACIÓN* = {*DE*, *IZ*}, *ALUMNO* representa un número asignado por los responsables del proyecto y *FORMATO* definiría la extensión del archivo de la imagen.

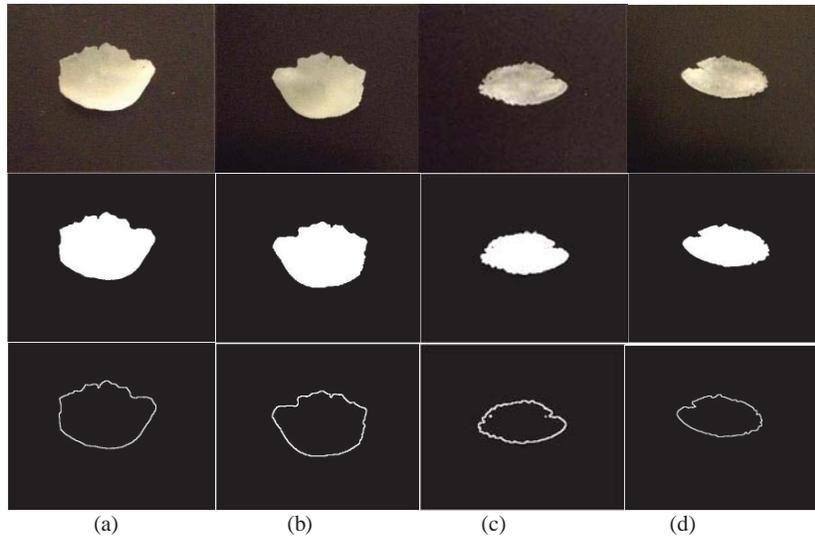


Fig. 1 Fotografías adquiridas del otolito sagita de *Haemulon plumieri* (chac-chi) (a) derecho y (b) izquierdo, así como *Epinephelus marginatus* (mero) derecho (c) y (d) izquierdo en el primer renglón. Segundo y tercer renglón muestran sus segmentaciones binarias y la detección del contorno, respectivamente.

Para programar la interfaz gráfica y todos los códigos necesarios, se utilizó Matlab como entorno de programación, así como sus componentes orientados a interfaces gráficas. La computadora en la que se programó y en la que se probó la interfaz final fue una Toshiba Satellite L55-B con procesador Intel Celeron de 2.16 GHz, 4.00 GB de RAM y sistema operativo Windows 10 de 64 bits.

3 Resultados y Discusión

Para probar el funcionamiento del clasificador, se utilizaron 24 imágenes de la base de datos final para la etapa de entrenamiento y se dejaron 5 para evaluar el rendimiento del sistema de clasificación. El resultado del entrenamiento es el que se muestra en la Tabla 1 y el resultado de la etapa de evaluación se muestra en la Tabla 2.

Por último, se proporcionaron 23 imágenes nuevas para validar de manera definitiva el desempeño del clasificador propuesto, debido a que solo se pudieron obtener 23 imágenes nuevas de muestras de otolitos. Las imágenes estaban desordenadas respecto a las clases, con distinto formato y con otolitos en distintas orientaciones, posiciones y algunas con baja resolución. A continuación se muestran los resultados en la Tabla 3.

Tabla 1. Resultados de la clasificación en la etapa de entrenamiento; eficiencia del 100%.

V / P	Mero Iz	Mero De	Chac Iz	Chac De
Mero Iz	6	0	0	0
Mero De	0	6	0	0
Chac Iz	0	0	6	0
Chac De	0	0	0	6

Tabla 2. Resultados de la clasificación en la etapa de evaluación; eficiencia del 100%.

V / P	Mero Iz	Mero De	Chac Iz	Chac De
Mero Iz	0	0	0	0
Mero De	0	1	0	0
Chac Iz	0	0	2	0
Chac De	0	0	0	2

Tabla 3. Resultados de la clasificación en la etapa de validación final; eficiencia del 100%.

V / P	Mero Iz	Mero De	Chac Iz	Chac De
Mero Iz	7	0	0	0
Mero De	0	6	0	0
Chac Iz	0	0	5	0
Chac De	0	0	0	5

Las tablas representan la clasificación de las imágenes de otolitos, siendo la primera columna las especies con su clasificación real, y las siguientes 4 columnas las coincidencias con la clasificación del sistema, es decir, que para la tabla 1, 6 imágenes que eran Mero izquierdo fueron clasificados por el sistema como Mero izquierdo. La eficiencia se midió por los porcentajes de aciertos respecto a la diagonal de las tablas, que corresponden a los verdaderos positivos de cada prueba.

4 Conclusiones

Al término de las pruebas realizadas se observó que los resultados que se obtuvieron fueron bastante buenos, algo muy importante que cabe destacar, es el uso eficiente de la selección de características adecuadas en la etapa de entrenamiento para obtener los centroides requeridos para cada clase. En esta propuesta se usaron 3 características, que podría verse como un número muy bajo de características, pero que funcionan de la mejor manera posible y que permitieron que el clasificador se desempeñe de manera correcta. La interfaz final resultó muy cómoda y bastante completa. Como trabajo futuro se plantea poder utilizar las bases del sistema de clasificación para otros tipos de especies de peces.

Referencias

1. Martínez, J. A., Arteaga, et. al. Utilización de otolitos como herramienta en la determinación de especies. *Revista de Zoología*, (18), 13-18 (2007).
2. E. Nava, E. I. Villar, M. C. Clemente, et al., Digital Imaging Tool to Enhance Otolith Microstructure for Estimating Age in Days in Juvenile and Adult Fish, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 99, 1-8, (2017).
3. Hevia-Montiel N, Molino-Minero-Re E, et al., Study of discrete morphometric characteristics of sagittae otolith of lionfish (*Pterois volitans*) in puerto morelos, 38th Scientific Conference of the Association of Marine Laboratories of the Caribbean, (2017).
4. Gonzalez R. e Y Woods R. *Digital images processing*, 3er Ed. Pearson, 2008.
5. Bribiesca, E. . A measure of tortuosity based on chain coding. *Pattern Recognition*, 46(3), 716-724, (2013).

Análisis computacional en imágenes de electroforesis unicelular en gel mediante algoritmos de segmentación automática

Javier Luna-González¹, Anabel Martin-Gonzalez¹, Carlos Brito-Loeza¹, and Elda Pacheco-Pantoja²

¹ Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Matemáticas
Anillo Periférico Norte, Tablaje Cat. 13615, CP. 97205, Mérida, México.

² Universidad Anáhuac Mayab
Carr. Mérida Progreso Km. 15.5 AP. 96 Cordemex, CP. 97310, Mérida, México
jaavierlunaa@gmail.com

Abstract. La electroforesis unicelular en gel (ensayo cometa) es un método de confianza para la medición del daño en el ADN de las células y evaluación de la capacidad regenerativa en ellas. Dicho material dañado puede ser observado a través de un microscopio, donde las células adoptan la forma de cometas; el material genético estable permanece en la cabeza, mientras que la migración del núcleo, la fracción inestable de ADN, conforma la cola. El objetivo de este trabajo es encontrar un método eficaz y confiable para la segmentación automática de la cabeza y cola de las moléculas del ADN procesadas por el ensayo cometa, así como el cálculo de parámetros para inferir datos estadísticos en los estudios clínicos. Para ello se propone la implementación de técnicas y métodos de morfología matemática, umbralización, segmentación por regiones y algoritmos de reconocimientos de patrones para lograr la detección adecuada de cometas.

Keywords: Ensayo cometa, células de ADN, segmentación automática.

1 Introducción

La electroforesis en gel de células individuales (ensayo cometa o comet assay, por su pronunciación en inglés), es un método de confianza para la detección y medición de la capacidad regenerativa en el Ácido Desoxirribonucleico (ADN) de organismos unicelulares. El resultado del experimento permite visualizar dichas células en dos partes fundamentales: su núcleo (conocido como cabeza del cometa), que representa la fracción de material genético que resistió el daño inducido en ellas al momento de realizar el experimento; y los residuos de éste (conocido como cola del cometa), que simboliza la porción de núcleo que migró debido a su inestabilidad genómica [5, 7]. Los resultados del ensayo cometa son capturados en imágenes mediante un microscopio bajo un efecto de fluorescencia.

Este procedimiento tiene importantes implicaciones en biomédica y genómica, ya que sirve como biomarcador en el análisis de enfermedades degenerativas,

como cáncer, diabetes, daños por tabaquismo, entre otros [10, 2]. Su principal característica es que permite analizar la heterogeneidad poblacional de la muestra celular, lo que posibilita el análisis individual del comportamiento de cada célula ante la aplicación del ensayo, y de esta forma generar resultados independientes entre células.

Dado que el ensayo cometa es una prueba de laboratorio, en donde es posible registrar los resultados en imágenes digitales, el análisis computacional obtiene un papel importante en el proceso al brindar herramientas y algoritmos que faciliten la detección y cálculo de parámetros en los cometas encontrados. La creciente demanda del estudio de células individuales procesadas por el ensayo cometa ha provocado que diversos trabajos y proyectos centren su atención en desarrollar sistemas y herramientas en diversas áreas (procesamiento de imágenes, visión computacional, aprendizaje automático, reconocimiento de patrones), permitiendo automatizar y facilitar el análisis de los resultados en tiempo real.

Vojnovic et al. [11] presentan un sistema completamente autónomo para el análisis computacional de los resultados del ensayo cometa, además de contabilizar el número de cometas presentes en la imagen y eliminar aquellos objetos que no son identificados propiamente como cometas. La estrategia de detección en este trabajo consiste en normalizar la imagen, umbralizar de acuerdo al 20% del valor máximo encontrado en el histograma de niveles de gris, para luego delinear el área de los cometas encontrados con el método denominado CHARM (Compact Hough And Radial Map). Los parámetros que el software determina son los siguientes: momento del cometa, porcentaje de ADN de cabeza y cola, longitud de cola. Kiziltan y Yurtcu [3] proponen un sistema computacional semi-automático al requerir que el usuario proporcione la localización del cometa que se desee analizar. Su sistema permite que el usuario pueda realizar calibración de métrica, y ajustar los valores de umbralización y de resolución angular/radial. Estos valores introducidos son los que utiliza el algoritmo del sistema para realizar el delineado, tanto de cabeza como de la cola, de los cometas analizados en las imágenes de entrada.

Ambos trabajos no son capaces de procesar aquellos cometas sobrepuestos o muy cercanos entre sí dada la naturaleza aleatoria que la electroforesis tiene sobre el ensayo cometa. Esto se debe a que ambas propuestas basan su segmentación en la localización de las regiones de la imagen con mayor luminosidad, provocando errores de medición cuando analiza una región con traslape de cometas.

Por lo tanto, el método que se presenta en este trabajo tiene como objetivo elaborar una herramienta computacional que permita el análisis automático de las partes resultantes (cabeza y cola) de las moléculas del ADN, específicamente las individuales, procesadas por el ensayo cometa, como apoyo en el diagnóstico de la predisposición de un paciente a desarrollar enfermedades degenerativas.

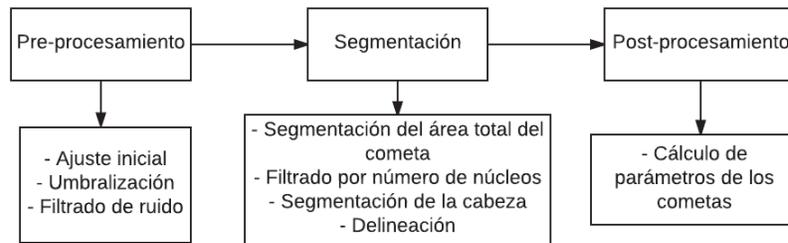


Fig. 1. Diagrama general del funcionamiento del método propuesto

2 Metodología

El sistema propuesto está compuesto por un conjunto de módulos, cada uno resolviendo problemas particulares (ver Fig. 1). El método fue desarrollado con la herramienta de software matemático MATLAB (versión 2013B).

2.1 Pre-procesamiento

Los archivos de imágenes a pre-procesar pueden estar en cualquier formato para imágenes y pueden ser a color o en escala de grises. Todos los procesos se aplican a imágenes en escala de grises, por lo que una imagen a color (modo RGB) se transforma a su representación en el espacio de escala de grises con una profundidad de 8 bits. Una vez que se tiene una imagen en escala de grises, se realiza la eliminación del fondo aplicando una umbralización por el método Otsu [8]. Este método proporciona el umbral óptimo para la segmentación de la imagen, bajo el criterio de máxima varianza entre fondo y objeto. Posterior a la umbralización, se procede a la eliminación del ruido en la imagen, es decir, eliminar aquellos residuos que no representan información sobre cometas. Para esto, se empleó la operación Opening de morfología matemática [12]. Esta operación, también conocida como la dilatación de la erosión, utiliza una estructura B como máscara sobre la imagen A para suprimir ligeras separaciones entre objetos y líneas muy delgadas. La operación matemática de Opening se aprecia en la Ecuación 1.

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (1)$$

2.2 Segmentación

Hasta este punto se tiene una imagen con los objetos que representan los mejores candidatos a ser cometas, sin embargo puede seguir existiendo ruido en la imagen, conjuntos de cometas agrupados que no es posible segmentarlos de manera directa o cometas incompletos debido a la naturaleza de la imagen. Para ello,

se procede a hacer un último filtrado tomando en cuenta el área de los objetos en la imagen. El objetivo es ubicar un salto significativo entre áreas de objetos, tomando como referencia la hipótesis de que los objetos clasificados como ruido tienen un área mucho más pequeña que los que representan cometas.

El análisis continúa en cada uno de los objetos con áreas adecuadas según el filtro anterior. Primero se analiza el espectro luminoso de dicho objeto ubicando todas las regiones donde se encuentren picos de intensidad, con el objetivo de encontrar los núcleos de los cometas, o en su defecto residuos del experimento sin valor significativo para el ensayo cometa. Aquellas regiones donde se localice más de un pico de intensidad se descartan para poder trabajar únicamente con objetos que se sepa con certeza son cometas y que solo poseen un núcleo, sin residuos o ruido que puedan alterar la segmentación de la cabeza de éstos.

Para delimitar la cabeza de los cometas se utilizó el algoritmo de segmentación por regiones *region growing* [1, 9]. Este método toma como referencia un punto semilla para iniciar el proceso de segmentación, tomando como límite de la clasificación un indicador de tolerancia, el cual determina hasta qué punto un pixel es considerado como parte de la región a segmentar.

Una vez que se obtiene la región segmentada, se procede a delinear el contorno de la cabeza encontrada mediante el algoritmo Convex Hull [6]. Este método consiste en dado un conjunto de puntos (píxeles), su envolvente convexa está definida por el polígono convexo de área mínima que cubre todos los puntos (esto es, todos los puntos están dentro del polígono).

2.3 Post-procesamiento

Los parámetros, que ayudan a inferir los resultados de los ensayos cometas, serán extraídos de las regiones previamente segmentadas como trabajo a futuro. Dichos parámetros, calculados para cabezas, colas y cometas en general, son los siguientes: área (suma de los píxeles que comprenden el área segmentada), contenido de ADN (suma de los niveles de gris de cada pixel dentro del área segmentada), porcentaje de ADN (razones entre el área total del cometa y su cabeza o cola), longitud (distancia medida en número de píxeles) y momento (medida que se calcula multiplicando la longitud del cometa por su porcentaje de ADN, para medir la densidad del daño en la célula) [4].

3 Resultados

El método ha sido probado hasta el momento con 10 imágenes. Para comparar el desempeño de nuestro método, se procesaron las mismas imágenes con el software de libre comercio Open Comet (ver Fig. 2 y 3). Este software realiza una segmentación basada en los puntos máximos de intensidad de la imagen, asumiendo que los cometas están orientados de izquierda a derecha. Al analizar una imagen, el Open Comet puede entregar tres distintos resultados de acuerdo al color de su segmentación: Rojo: Clasifica la región como cometa y proporciona una representación gráfica de las áreas de sus cabezas (línea verde) y sus colas

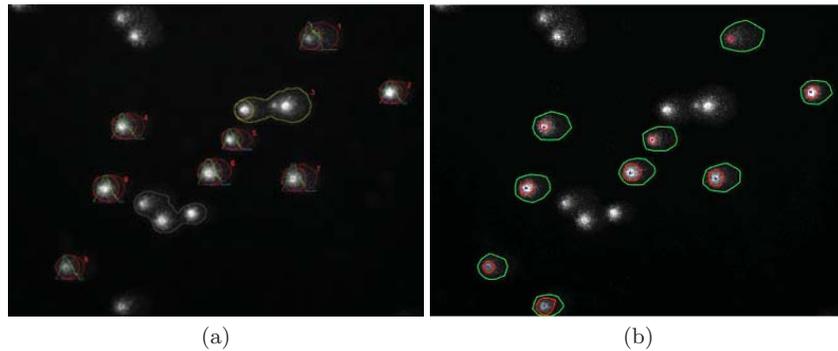


Fig. 2. Resultado de segmentación 1: a) Open Comet, b) método propuesto

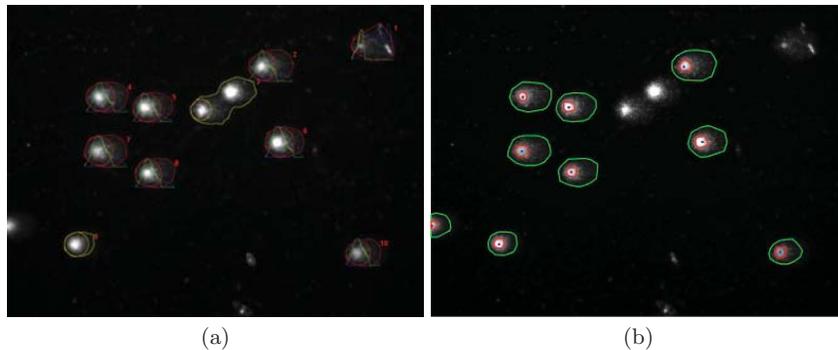


Fig. 3. Resultado de segmentación 2: a) Open Comet, b) método propuesto

(línea azul). Amarillo: Nivel intermedio, es decir, el software detecta un área de interés, realiza la segmentación pero clasifica el resultado como *outlier*. Gris: Detecta el área de interés pero lo desecha del resto de los resultados, normalmente es en esta región donde los cometas combinados son clasificados.

Como se aprecia en las Figs. 2 y 3, el método propuesto segmenta con mayor precisión el área de cabezas, a diferencia del Open Comet que detecta áreas mucho más grandes. La segmentación de los cometas sobrepuestos no pudo ser resuelto con este método propuesto. Por esta razón, no hay marcas de segmentación en las Figs. 2 y 3 de este tipo de cometas. En la Fig. 2, se aprecia que el método propuesto segmenta con mayor precisión el área de las cabezas, comparado con el Open Comet, además de que el Open Comet no es capaz de segmentar el cometa ubicado en la parte baja de la imagen. En la Fig. 3, nuestro método vuelve a segmentar, de manera correcta, los cometas, exceptuando al que está ubicado en la esquina superior derecha; esto se debe a que el método clasificó dicha célula como una combinación de cometas, debido al residuo de alta luminosidad en el extremo derecho de su cola. El método determina que un área de interés contiene

cometas combinados si su área es mayor que el promedio de áreas en total, o si dentro del área existe más de una región de alta luminosidad; esto para aplicarles una correcta metodología y para no contaminar los resultados y métricas de los cometas individuales.

4 Conclusión

El ensayo cometa es un proceso de laboratorio confiable, rápido y flexible; que permite detectar el daño a nivel molecular de los organismos a través de sus células individuales. El método propuesto en este trabajo realiza una segmentación de cometas basada en una serie de filtros para clasificar de manera correcta a los cometas no sobrepuestos, y que no contienen residuos en su interior. Los resultados de nuestro método muestran un desempeño mejor a comparación de los que el software Open Comet provee, realizando una segmentación más precisa de la cabeza de las células. Uno de los principales objetivos a futuro es implementar el método para la segmentación de los cometas con traslape, donde la integración de técnicas de aprendizaje automático se mantiene como la opción más viable para estos casos debido a la naturaleza de éstas regiones de cometas.

Referencias

1. Fan, J., Zeng, G., Body, M., Hacid, M.S.: Seeded region growing: An extensive and comparative study 26, 1139–1156 (2005)
2. Kassie, F., Parzefall, W., Knasmüller, S.: Single cell gel electrophoresis assay: A new technique for human biomonitoring studies 463, 13–31 (2000)
3. Kiziltan, E., Yurtcu, E.: Semi-automatic scoring tool for comet assay 9, 27–33 (2015)
4. Kumaravel, T., Vilhar, B., P Faux, S., Jha, A.: Comet assay measurements: A perspective 25, 53–64 (2007)
5. McKelvey-Martin, V., Green, M., Schmezer, P., Pool-Zobel, B., De Méo, M., R. Collins, A.: The single cell gel electrophoresis assay (comet assay): A european review 288, 47–63 (1993)
6. Mei, G., Tipper, J.C., Xu, N.: An algorithm for finding convex hulls of planar point sets pp. 888–891 (2012)
7. Nandhakumar S, Parasuraman S, S.M.R.K.C.P.B.B.: Evaluation of dna damage using single-cell gel electrophoresis (comet assay) pp. 107–111 (2011)
8. Otsu, N.: A threshold selection method from gray-level histograms 9, 62–66 (1979)
9. Shih, F.Y., Cheng, S.: Automatic seeded region growing for color image segmentation. *Image Vision Comput.* 23(10), 877–886 (2005)
10. SINGH, N., Tice, R., STEPHENS, R., SCHNEIDER, E.: A microgel electrophoresis technique for the direct quantitation of dna damage and repair in individual fibroblasts cultured on microscope slides 252, 289–296 (1991)
11. Vojnovic, B., Barber, P., Johnston, P., C Gregory, H., Marples, B., C Joiner, M., J Locke, R.: A high sensitivity, high throughput, automated single-cell gel electrophoresis ('comet') dna damage assay (2017)
12. Yossi Gil, J., Kimmel, R.: Efficient dilation, erosion, opening and closing algorithms 24, 1606–1617 (2003)

Clasificación de Señales Doppler de Ultrasonido en Modelo Murino con Algoritmos de Aprendizaje no Supervisados

Israel Borges-Chan¹, Nidiyare Hevia-Montiel², Erik Molino-Minero-Re² y Ana Paulina Haro Álvarez³

¹ Facultad de Matemáticas, Universidad Autónoma de Yucatán, México.

² Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, sede Mérida. UNAM, México.

³ CONACYT-Centro de Investigaciones Regionales Dr. Hideyo Noguchi, Universidad Autónoma de Yucatán, México.
german.israel.borges.chan@gmail.com

Resumen. En el siguiente trabajo se presenta una evaluación de dos métodos de aprendizaje no supervisados, los cuales son: el ya conocido K-Medias y los Mapas Auto-Organizados de Kohonen como clasificadores de la envolvente de señales Doppler de ultrasonido en válvulas cardíacas y periféricas en un modelo murino. La evaluación de cada método de clasificación anteriormente mencionado se hace mediante la obtención de la exactitud, sensibilidad y especificidad. Posteriormente se discute que el resultado obtenido es debido a la desigualdad en la cantidad de señales en cada clase, no obstante, estos métodos de clasificación nos permiten hacer una clasificación con cierto grado de certidumbre. Se debe tener en cuenta que no siempre es posible la adquisición de este tipo de señales por lo que este trabajo pretende servir como un punto de partida para futuros estudios.

Palabras Clave: Modelo Murino, Flujo Sanguíneo, Señal Ultrasonido, Efecto Doppler, Clasificación, Aprendizaje No Supervisado.

1 Introducción

La investigación de los distintos mecanismos en modelos murinos es un valioso ejemplo para saber cómo funciona el organismo de un mamífero [1-3]; poder reconocer válvulas cardíacas [4] y arterias con la velocidad que va pasando la sangre en determinada zona es un ejemplo de esto.

Una técnica para medir la velocidad del flujo sanguíneo es el efecto Doppler [5], el cual nos permite obtener una gran cantidad de información en zonas centrales y periféricas de un corazón.

En este trabajo se presenta un estudio comparativo entre dos algoritmos de aprendizaje no supervisados, los cuales son: el ya conocido K-Medias y los Mapas Auto-Or-

ganizados de Kohonen [6] como clasificadores de unas señales Doppler [7] de ultrasonido en diferentes válvulas cardiacas y arterias en un modelo murino. Así mismo, se pretende mostrar el efecto que tienen estos algoritmos cuando el número de clases aumenta.

Con el objetivo de mostrar el comportamiento de estos algoritmos de clasificación con las señales de entrada se plantean características o descriptores simples y se realiza un proceso poco elaborado.

Debido a la complejidad y costo de la adquisición de un equipo para obtener estas señales en modelos murinos, estos estudios no resultan muy comunes, por lo que realizar una clasificación de las válvulas cardiacas en estos modelos resulta un aporte importante.

2 Metodología

La metodología usada corresponde a un enfoque de análisis muy simple, en la que se lleva a cabo, en orden, las etapas de adquisición de las señales Doppler de ultrasonido, la extracción de características y la clasificación no supervisada. El diagrama de bloques se muestra en la Fig. 1.



Fig. 1. Diagrama de bloques de la metodología implementada.

2.1 Implementación de la interfaz gráfica

Para la realización de este trabajo se hizo uso del software MATLAB versión 8.5.0.197613 (R2015a), en el cual se desarrolló una interfaz gráfica. Dicha interfaz consta de 4 partes: 1) La visualización de las señales Doppler de ultrasonido, 2) el cálculo de descriptores, 3) clasificación y 4) un menú que conecta todas las partes. Las pantallas de la interfaz gráfica se muestran en la Fig. 2.

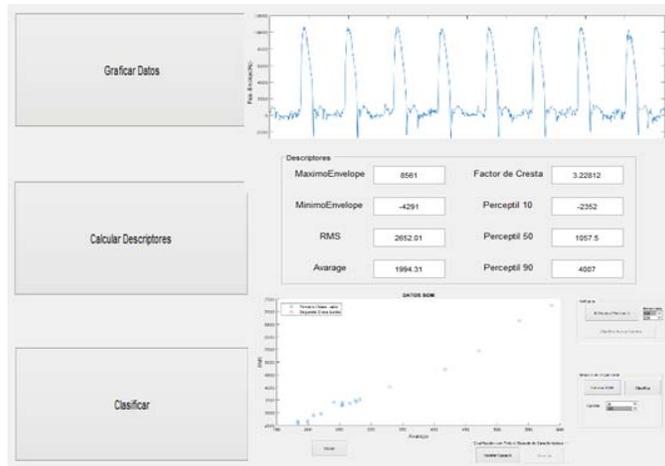


Fig. 2. Pantallas de la interfaz gráfica desarrollada con el software MATLAB.

2.2 Adquisición de las señales Doppler de ultrasonido

Las señales Doppler de ultrasonido usadas para este trabajo se obtuvieron con un transductor [7] marca Indus, con un canal de 10MHz así como canal de 20MHz. Los objetos de prueba fueron ratones machos y hembras adultos.

Se adquirieron 16 señales Doppler de ultrasonido provenientes de la válvula cardiaca aórtica, 13 de la válvula cardiaca mitral, 3 de la arterial renal izquierda, 5 de la arteria renal derecha y 14 señales que representan la velocidad de onda de pulso (Pulse wave velocity), o PWV [8]. Se obtuvo la envolvente de cada señal para la posterior etapa de clasificación (ver Fig. 3).

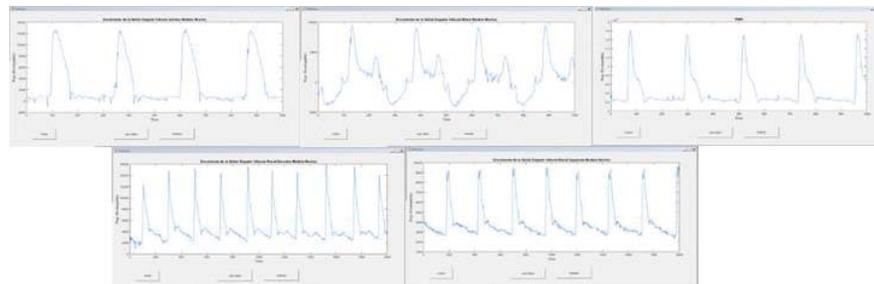


Fig. 3. Envolturas de las diferentes señales Doppler de ultrasonido adquiridas: En la parte superior Aorta, Mitral, PWV y en la parte Inferior Renal Derecha y Renal Izquierda en orden de izquierda a derecha.

2.3 Extracción de características

Se obtuvieron tres descriptores o características para todas las señales adquiridas: el valor cuadrático medio o RMS, el promedio y el Valor Máximo de cada señal. Estos descriptores se tomaron por simplicidad. Se tomaron todas las señales adquiridas en cada válvula o arteria como una clase independiente, por lo que tenemos 5 clases dejándonos un espacio de características como el de la Fig. 4.

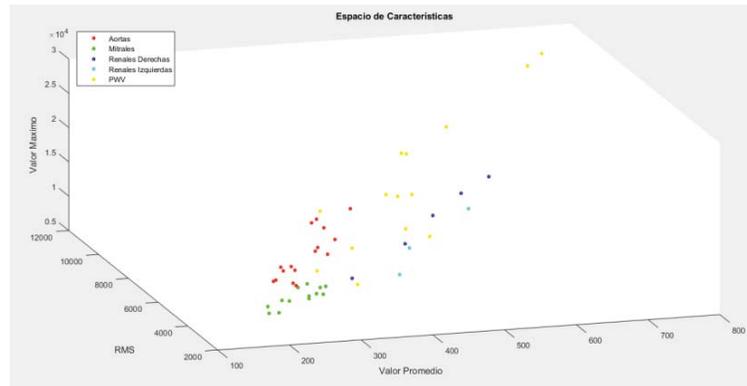


Fig. 4. Espacio de características resultante con el RMS, el promedio y el valor máximo de las señales Doppler de ultrasonido.

2.4 Clasificación

La etapa de clasificación se dividió en dos partes: La primera parte correspondiente a una clasificación entre pares de clases de las señales adquiridas mediante la implementación de dos métodos de clasificación: El método de K-Medias con 100 iteraciones y el método de los Mapas Auto-Organizados con 2 neuronas y 100 épocas; usando como descriptores el valor cuadrático medio o RMS y el promedio para ambos casos.

La segunda parte corresponde a una clasificación general con las 5 clases en la que se usó el método de los Mapas Auto-Organizados con los tres descriptores mencionados en la etapa de extracción de características, con 6 neuronas y con 300 épocas

Se hizo una evaluación de cada método de clasificación mediante la obtención de la exactitud, sensibilidad y especificidad para cada parte de la clasificación.

3 Resultados

Para la primera parte de la clasificación en donde se hizo una clasificación por pares de clases, la evaluación de los modelos implementados es mostrada en la Tabla 1.

Tabla 1. Evaluación en la primera parte de la clasificación con cada método implementado.

Pares de Clases de Señales	K-Medias			SOM		
	Exactitud	Sensibilidad	Especificidad	Exactitud	Sensibilidad	Especificidad
Aorta - Mitral	0.862	1.000	0.765	0.897	1.000	0.813
Aorta - Renal Derecha	0.619	0.833	0.333	0.619	0.786	0.286
Aorta - Renal Izquierda	0.526	0.889	0.200	0.526	0.889	0.200
Aorta - PWV	0.700	0.640	1.000	0.733	0.682	0.875
Mitral - Renal Derecha	0.889	0.867	1.000	0.889	0.867	1.000
Mitral - Renal Izquierda	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Mitral - PWV	0.889	0.813	1.000	0.926	0.867	1.000
Renal Derecha - Renal Izquierda	0.500	0.667	0.400	0.625	0.750	0.500
Renal Derecha - PWV	0.474	0.308	0.833	0.474	0.273	0.750
Renal Izquierda - PWV	0.471	0.000	0.727	0.471	0.000	0.727

Para la segunda parte de la clasificación en donde se usaron las 5 clases de las señales para clasificar con el método de los Mapas Auto-Organizados la evaluación es mostrada en la Tabla 2.

Tabla 2. Evaluación de la clasificación con las 5 clases de señales con el método de los Mapas Auto-Organizados.

Clase de Señal	Exactitud	Sensibilidad	Especificidad
Aorta		0.571	0.324
Mitral		0.450	0.355
Renal Derecha	0.392	0.000	0.417
Renal Izquierda		0.0833	0.487
PWV		1.000	0.367

4 Discusión

En la primera parte de la clasificación se puede apreciar en la Tabla 1 cómo el método de los Mapas Auto-Organizados tiende a dar ligeramente mejores resultados comparado con el método K-Medias. Esta fue la razón por la cual se usó este método para clasificar las 5 clases de señales Doppler en la segunda parte de la clasificación.

En la segunda parte de la clasificación se puede apreciar en la Tabla 2 cómo la eficiencia de la clasificación decae, esto se debe a que las características elegidas no separan muy bien las clases de las señales como se puede apreciar en la Fig. 4. Otro factor para que nos diera este resultado, fue la desigualdad en la cantidad de señales en cada clase.

5 Conclusión

Se puede apreciar que los algoritmos con las características presentadas en este trabajo tienen más desventaja cuando las clases de señales aumenta. Por otro lado, las ventajas de estos algoritmos es que nos permiten hacer una clasificación con cierto grado de certidumbre con escasas señales y con cantidades de éstas bastante desiguales.

6 Agradecimientos

Proyecto apoyado por el CONACYT PDCPN2015-102

Referencias

1. Fernando J. Benavides., Jean-Louis Guénet.: Manual de Genética de Roedores de Laboratorio: Principios Básicos y Aplicaciones, 1a ed. Secal. 2003.
2. Nicolás Suárez., Rufino Cabrera., Luis Cartagena., Rolando Ayaqui.: Características biológicas de una cepa de Trypanosoma cruzi en un modelo murino y análisis de supervivencia. 2009.
3. Fernando J. Benavides., Jean-Louis Guénet.: Modelos Murinos de Enfermedades Humanas. 2001.
4. Arthur C. Guyton, John E. Hall: Tratado de Fisiología Médica, 12ª ed. 2011.
5. Paola Paolinelli G.: Ecografía Doppler: Principios y aplicaciones, Vol. 15 N°2. 2004
6. 10. H. Ritter and T. Kohonen, Self-organizing semantic maps, Biol. Cybern., vol. 61, pp. 241-254, 1989.
7. Guillermo Avendaño., Caupolicán Muñoz Gamboa.: Sensores y transductores biomédicos. Mexico, D.F. 2009.
8. American Journal of Hypertension., Aortic PWV in Chronic Kidney Disease: A CRIC Ancillary Study., vol. 23, pp. 282–289, 2010.

Clasificación Morfométrica de Tumores Cerebrales Primarios Utilizando Aprendizaje Supervisado de Vecinos Próximos

Angel Carrillo-Bermejo¹, Nidiyare Hevia-Montiel², Anabel Martin-Gonzalez¹,
and William M. Rosado Jr³

Facultad de Matemáticas, Universidad Autónoma de Yucatán¹
Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas-Sede Mérida,
Universidad Nacional Autónoma de México²
Universidad Marista de Mérida³
angeljcarriillo@gmail.com

Resumen Los tumores cerebrales pueden presentar cambios morfológicos dependiendo de su grado de malignidad. El objetivo de este trabajo es desarrollar un sistema computacional que clasifique tumores cerebrales primarios de bajo y alto grado de malignidad con base en sus características morfológicas a partir de imágenes de resonancia magnética. El esquema propuesto consiste en la utilización de máscaras binarias de regiones de interés validadas de acuerdo a la base de datos, la extracción de características en cada región de interés usadas para la clasificación, la cual se realiza utilizando el algoritmo de aprendizaje supervisado de próximos vecinos, *K-Vecinos más Cercanos*. Este trabajo propone clasificar la malignidad de los tumores a través de las características morfológicas de tortuosidad, compacidad y la relación de volumen tumor-edema. El método se aplicó a una población de 40 pacientes diagnosticados histológicamente con presencia de un tumor cerebral primario, en la cual 20 son de bajo grado y 20 de alto grado. El sistema propuesto mostró una precisión del 90.00 % de reconocimiento.

Palabras Clave: Tortuosidad, Compacidad, Aprendizaje Supervisado, Vecinos Próximos, Gliomas

1. Introducción

Los gliomas son un tipo frecuente de tumor cerebral primario, el cual inicia su crecimiento dentro del cerebro humano. La Organización Mundial de la Salud (*World Health Organization*) clasifica los gliomas en cuatro grados de malignidad [1]. Los de grado I y II (astrocitomas y oligodendrogliomas) son tumores de bajo grado (BG), ya que tiene una tasa baja de mortalidad. Los de grado III y IV (astrocitomas anaplásticos y a glioblastomas multiformes) son tumores de alto grado (AG), debido a sus altas probabilidades de ocasionar la muerte del paciente [2]. Gracias a la ayuda de las imágenes de resonancia magnética (IRM) y sus diversas modalidades, un experto puede reconocer cambios de forma, o

anomalías sobresalientes en las regiones del cerebro en 2D. Sin embargo, la subjetividad inherente en el análisis no es adecuado para variaciones cuantitativas en 3D [3]. De acuerdo a [4], las propiedades morfométricas de un tumor (volumen, forma y ubicación) son de utilidad para su análisis estructural. Trabajos previos han propuesto diversos enfoques para la clasificación de tumores cerebrales. Algunos enfoques están basados en algoritmos de aprendizaje supervisado [5], y otros en algoritmo de aprendizaje no supervisado [6]. Sin embargo, ninguno de los trabajos previos toma en cuenta características de forma en los tumores para su clasificación. Por esta razón, en este trabajo investigación se propone el uso características morfológicas de tumores cerebrales primarios para su clasificación en BG y AG de malignidad.

2. Metodología

Se propone un método de clasificación de tumores cerebrales en BG y AG a través de sus características morfológicas. Los valores de las características morfométricas son normalizados en un rango de [0-1]. En esta sección se hablará sobre la adquisición de la base de datos, el pre-procesamiento de los datos adquiridos y las regiones de interés. Se presenta una definición y la extracción de las características implementadas y, finalmente, el método de clasificación.

2.1. Base de Datos

En este trabajo, se utilizó la base de datos de secuencias multi-contraste de imágenes cerebrales *Multimodal Brain Tumor Image Segmentation* (BRATS) de uso libre [7], con modalidades T1, T1 contrastada (T1c), T2 y T2FLAIR (ver Figura 1a). Las secuencias de imágenes, de resolución isotrópica de 1 mm por voxel, fueron adquiridas y segmentadas por expertos [7]. De los 390 pacientes de BRATS, se utilizaron imágenes de 40 pacientes con presencia de gliomas; 20 pacientes con gliomas de BG y 20 pacientes con gliomas de AG.

2.2. Extracción de Características Morfológicas

Para la extracción de las características se utilizaron las máscaras binarias de los tumores y edemas (regiones de interés), de las cuales se obtuvieron sus correspondientes bordes discretos, con base en el algoritmo de Moore (Moore-Neighborhood) [8]. Para cada paciente se tiene una secuencia de imágenes de cortes axiales que conforman el volumen de las regiones cerebrales de interés. Por lo tanto, se obtuvieron contornos por cada corte axial contenido en el volumen, como se muestra en la Figura 1b. Una vez que se obtienen las regiones y contornos que componen el volumen del tumor, se obtienen sus características morfométricas. Dichas características incluyen la compacidad discreta, la tortuosidad discreta y la relación volumen del tumor versus volumen del edema.

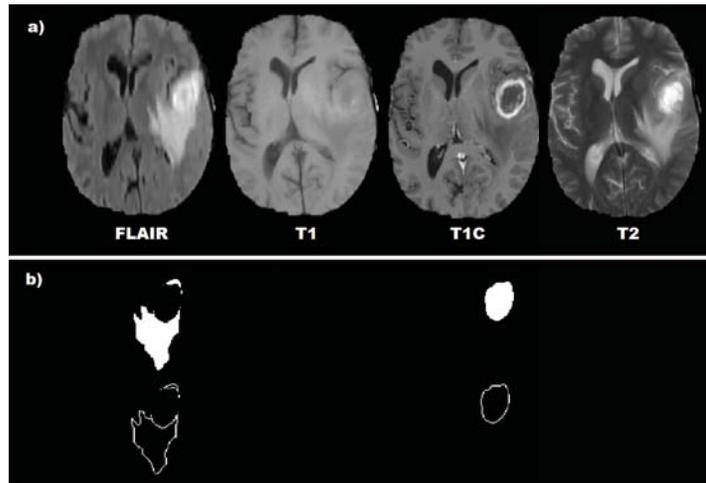


Figura 1. a) Modalidades de IRM con un tumor primario de alto grado, en el cual se observa el proceso neoplásico en región opercular frontal e insular izquierda con centro necrótico [7,9], b) En la parte superior izquierda la máscara binaria del edema, y en la parte inferior el contorno obtenido, en la parte superior derecha la máscara binaria del tumor, y en la parte inferior el contorno obtenido.

Compacidad Discreta La compacidad discreta (C_d) es una propiedad importante en los objetos que nos indica la relación existente entre el perímetro y el área de un objeto bidimensional (2D), o bien, la relación del área envolvente y el volumen de un objeto tridimensional (3D). Cabe resaltar que, la C_d es una medición normalizada, por lo que sus valores se encuentran definidos dentro del rango $[0, 1]$, siendo 1 el valor máximo de compacidad [10], en la ecuación 1 se define para un objeto 3D de n voxels, donde A es el área de la superficie envolvente [11] :

$$C_d = \frac{n - A/6}{n - (\sqrt[3]{n})^2} \quad (1)$$

Tortuosidad Discreta La tortuosidad discreta (T_d) es una propiedad en todas las curvas. Una forma de calcular la tortuosidad discreta de una curva 2D es a través de la discretización de ésta con segmentos rectos, donde sus cambios de dirección son un estimador de la tortuosidad. Dichos cambios de dirección se pueden medir a través del ángulo de contingencia normalizados $[-1,1]$ entre segmentos adyacentes, como se explica Bribiesca [12]. Donde a es una secuencia ordenada de n elementos almacenando los ángulos de contingencia, se calcula, como se muestra en la ecuación 2:

$$T_d = \sum_i^n |a_i| \quad (2)$$

Para calcular la T_d de un volumen es a partir de la concatenación de todos los códigos cadena de los ángulos de contingencia obtenidos en los diferentes contornos, presentes en cada uno de los cortes que representan el volumen del tumor [9].

Relación Volumétrica Tumor vs Edema Para obtener la relación volumétrica del tumor y el edema, se tomó en cuenta los n voxeles que conformar la máscara binaria de la región de interés como son tumor y el edema, como se define en la ecuación 3:

$$RV_{T,E} = \frac{\sum_i^n size < n_T >}{\sum_i^n size < n_E >} \quad (3)$$

Obteniendo un escalar equivalente a la relación volumétrica tumor versus edema.

2.3. Aprendizaje Supervisado por Vecinos Próximos

En el campo de reconocimiento de patrones, el algoritmo de K -vecinos más cercanos (K -NN, por sus siglas en inglés) es uno de los algoritmos más implementados de aprendizaje supervisado [13]. El algoritmo de clasificación K -NN predice la categoría de la muestra de prueba según el entrenamiento de K muestras que son los vecinos más cercanos a la muestra de prueba, y realiza una votación con base en la categoría que tiene mayor número de probabilidad o elementos.

3. Resultados

3.1. Espacio de Características y Validación Cruzada

Se obtuvieron las características morfológicas de C_d , T_d y $RV_{T,E}$ de todas las imágenes de la base de datos seleccionada. En la Figura 2 se puede visualizar gráficamente los valores resultantes de estas características.

Aplicamos validación cruzada de 5 rondas, dividiendo la base de datos en 80% de muestras para entrenamiento (32 muestras: 16 de BG y 16 de AG) y 20% para prueba (8 muestras: 4 de BG y 4 de AG). Los resultados de clasificación con $K = 5$ y $K = 10$ se presentan en las tablas 1 y 2, correspondientemente. La primera columna en las tablas es el número de ronda de validación (Val), la siguiente, muestra la precisión de reconocimiento en esa ronda $Precs$. Así mismo, se muestran los verdaderos positivos (VP), verdaderos negativos (VN), falsos positivos (FP) y falsos negativos (FN). La sensibilidad $Sens$, es la capacidad del método para detectar correctamente pacientes de BG. La especificidad $Spec$, es la capacidad del método para rechazar correctamente pacientes de AG. Por último, el $F1 Score$ es la media armónica de precisión y sensibilidad. Al final de cada tabla se agrega el promedio AVG y la desviación estándar SD de las rondas.

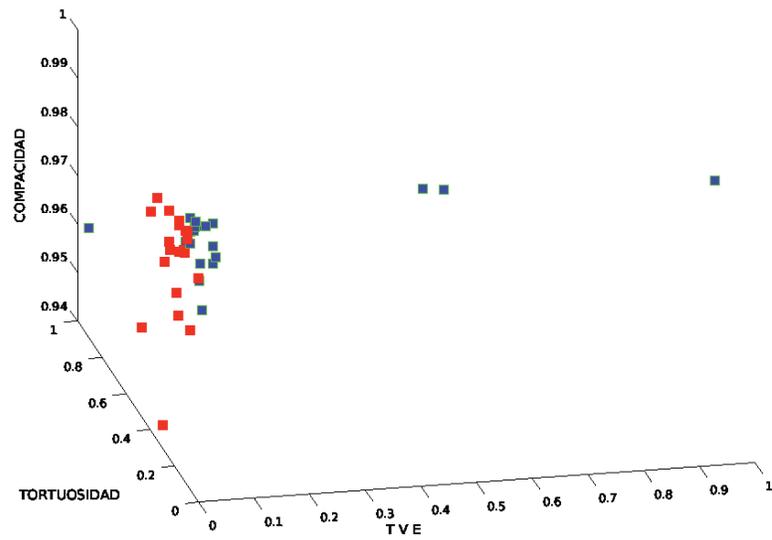


Figura 2. Representación del espacio de características morfológicas: Compacidad discreta, tortuosidad discreta y relación volumétrica tumor-edema (Tumor versus Edema).

Tabla 1. Resultado de Clasificación ($K=5$)

Val	Precs	VP	VN	FP	FN	Sens	Spec	F1-Score
1	100.00	4	4	0	0	1.00	1.00	1.00
2	75.00	2	4	2	0	1.00	0.67	0.67
3	87.50	3	4	0	1	0.75	1.00	0.86
4	75.00	4	2	2	0	1.00	0.50	0.80
5	87.50	3	4	0	1	0.75	1.00	0.86
AVG.	85.00	3	4	1	0	0.90	0.83	0.84
SD	10.50	1	1	1	1	0.14	0.24	0.12

Tabla 2. Resultado de Clasificación ($K=10$)

Val	Precs	VP	VN	FP	FN	Sens	Spec	F1-Score
1	100.00	4	4	0	0	1.00	1.00	1.00
2	100.00	4	4	0	0	1.00	1.00	1.00
3	87.50	3	4	0	1	0.75	1.00	0.86
4	75.00	2	4	2	0	1.00	0.67	0.67
5	87.50	3	4	0	1	0.75	1.00	0.86
AVG.	90.0	3	4	0	0	0.90	0.93	0.88
SD	10.5	1	0	1	1	0.14	0.15	0.14

4. Discusión y Conclusión

Este trabajo presenta un esquema de clasificación binaria para diferenciar tumores cerebrales primarios de bajo y alto grado de malignidad usando secuencias de imágenes de resonancia magnética, con base en la morfometría de las regiones de interés (tumor y edema). Las características propuestas fueron la compacidad, tortuosidad y la relación volumétrica del tumor versus edema. El esquema es semi-automatizado, debido a que se requiere la ayuda de un experto para extraer las regiones de interés. En general, el algoritmo de clasificación K -NN demostró que los patrones morfológicos propuestos son significativos para un análisis objetivo y cuantitativo de tumores cerebrales.

Referencias

1. S. Bauer, R. Wiest, L.-P. Nolte, and M. Reyes, "A survey of MRI-based medical image analysis for brain tumor studies," *Physics in Medicine and Biology*, vol. 58, no. 13, pp. R97–R129, 2013.
2. T. A. Dolecek, J. M. Propp, N. E. Stroup, and C. Kruchko, "Primary Brain and Central Nervous System Tumors Diagnosed in the United States in 2005 – 2009," 2012.
3. D. N. Kennedy, N. Makris, M. R. Herbert, T. Takahashi, and V. S. C. Jr, "Basic principles of MRI and morphometry studies of human brain development," *Developmental Science*, vol. 3, pp. 268–278, 2002.
4. V. Strudwick, C. Jr, N. Theodore, N. Makris, M. Reed, and D. Nelson, "MRI-based brain volumetrics : emergence of a developmental brain science," *Brain & Development*, vol. 21, pp. 289–295, 1999.
5. H. B. Nandpuru, "MRI Brain Cancer Classification Using Support Vector Machine," 2014.
6. I. Staff, I. of Electrical, and E. E. M. Section, *2016 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)*. IEEE, 2016.
7. B. Menze, A. Jakab, S. Bauer, J. Kalpathy-cramer, K. Farahani, J. Kirby, Y. Burren, N. Porz, R. Wiest, B. Menze, A. Jakab, S. Bauer, J. Kalpathy-cramer, and K. Farahani, "The Multimodal Brain Tumor Image Segmentation Benchmark (BRATS)," 2014.
8. R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*. Pearson, 2017.
9. N. Hevia-Montiel, E. Molino-Minero-Re, and A. Carrillo-Bermejo, "Tortuosidad discreta como medida morfométrica en tumores cerebrales," *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, vol. 38, no. 1, pp. 180–190, 2017.
10. E. Bribiesca, "Measure of compactness for 3D shapes," *Computers and Mathematics with Applications*, vol. 40, no. 10, pp. 1275–1284, 2000.
11. N. Hevia-Montiel, P. I. Rodriguez-Perez, P. J. Lamothe-Molina, A. Arellano-Reynoso, E. Bribiesca, and M. a. Alegria-Loyola, "Neuromorphometry of primary brain tumors by magnetic resonance imaging," *Journal of Medical Imaging*, vol. 2, no. 2, p. 024503, 2015.
12. E. Bribiesca, "A measure of tortuosity based on chain coding," *Pattern Recognition*, vol. 46, pp. 716–724, 2013.
13. R. Malathi and A. R. Dr. Nadirabanu Kamal, "Brain Tumor Detection and Identification Using K-Means Clustering Technique," *Int. Jnl. Of Advanced Networking and Applications (IJANA)*, pp. 14–18, 2015.

Desarrollo de un sistema de visión computacional para el aterrizaje autónomo de un VANT

Manuel Poot-Chin, Carlos Brito-Loeza, Ricardo Legarda-Saenz

Facultad de Matemáticas, Universidad Autónoma de Yucatán, México.
manuel.poot.c@gmail.com, carlos.brito@correo.uady.mx,
rlegarda@correo.uady.mx

Resumen El uso de la información geoespacial para el apoyo en el aterrizaje de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) satisface tareas sencillas de posicionamiento. Sin embargo, para tareas que requieren de precisión, como el aterrizaje en un punto específico, el margen de error que ofrecen estos dispositivos es inapropiado para alcanzar este objetivo. De ello se desprende la necesidad de utilizar herramientas que solventen estos inconvenientes. En el presente trabajo se propone una solución al problema de aterrizaje utilizando herramientas de visión computacional.

Keywords: computer vision, machine learning, control theory, VANT

1. Introducción

La tecnología de geoposicionamiento espacial (GPS, por sus siglas en inglés), ha sido durante muchos años la solución a muchas aplicaciones (militares y civiles) en donde la problemática es determinar la ubicación de un objetivo con respecto a un marco de referencia. Sin embargo, la poca fiabilidad en la posición entregada por los receptores GPS convencionales hacen a esta tecnología poco atractiva para aplicaciones de precisión en donde se esperan márgenes de error medidos en centímetros, siendo el error en la posición de los receptores GPS en el rango de metros [1]. Un ejemplo de ello es la navegación y aterrizaje de un VANT. Un pequeño error en la lectura de la posición puede llevar al VANT a ubicarse en áreas restringidas o poco ventajosas para el aterrizaje, lo que puede poner en riesgo su integridad o la de terceros. Es por ello que nace la necesidad de encontrar alternativas que permitan realizar estas tareas de forma confiable. Una de ellas es la utilización de técnicas de visión computacional, misma que ha sido documentada ampliamente en la literatura. Algunos ejemplos de trabajos representativos son el de Araar *et al.* en [2] que propone el uso de marcadores distintivos a diferentes escalas para facilitar la tarea de aterrizaje. El de Sharp en [3] y Chitrakaran en [4] que estima la posición del VANT para corregirla y aterrizar. El de Bartak *et al.* en [5] que detecta *blobs* y color. Y los trabajos de Herisse *et al.* [6] en donde se utiliza flujo óptico y el de Courbon *et al.* [7] en donde se implementa una técnica denominada memoria visual.

En el presente trabajo se propone la utilización de una serie de marcadores predefinidos a diferentes escalas en tierra para señalar el punto de aterrizaje del VANT. El funcionamiento del sistema es el siguiente, inicialmente el VANT se ubica en un área cercana al marcador utilizando información del GPS hasta llegar a un perímetro de seguridad. Una vez que esto sucede, se inicia un proceso de detección para hallar el marcador a través de Visión Computacional y Machine Learning. Posteriormente, habiendo hallado el marcador, la pose del VANT con respecto al marcador es estimada y usada para lograr el aterrizaje. Todo ello logrado en tiempo real a través del uso de una cámara y computadora a bordo.

2. Metodología

El proceso propuesto para lograr el aterrizaje del VANT se divide en tres etapas:

- Detección, la cual consiste en la búsqueda y detección del marcador.
- Estimación, la cual obtiene una aproximación de la posición del marcador en tierra.
- Control, la cual genera las instrucciones de control para el aterrizaje.

2.1. Detección

La fase de detección es parte esencial de sistema y su función consiste en determinar si el marcador, que indica el punto de aterrizaje, es visible por el VANT. En el presente trabajo se propone la utilización del algoritmo AdaBoost descrito en [8] por Viola y Jones pero modificado para permitir la detección de un marcador predefinido, en lugar de rostros como se plantea originalmente. La motivación para el uso de este algoritmo recae en un grado de confiabilidad aceptable y su rápida detección, algo que es deseable en aplicaciones en tiempo real.

AdaBoost utiliza una gran cantidad de clasificadores $h_t(x)$ débiles, denominados así por su reducida confiabilidad, los cuales *votan* de forma individual y con base al consenso de sus respuestas se llega a un *veredicto* que constituye un clasificador *fuerte* cuyo resultado es evaluado para determinar la clase a la que pertenece un objeto. En forma de expresión matemática, la entrada al algoritmo de AdaBoost puede resumirse a un vector V como se muestra a continuación:

$$V = \left\{ (x_i, y_i) : x_i \in \mathbb{R}, y_i \in \{-1, +1\}, i = 1, 2, \dots, m \right\},$$

donde m el número de clasificadores débiles, x_i es un vector de características y y_i es un escalar que indica la salida esperada.

Cada clasificador débil posee un error $\epsilon(h_t)$ dado por

$$\epsilon(h_t) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \delta(h_t(x_i) \neq y_i) < \frac{1}{2} \quad (1)$$

donde $\delta(h_t(x_i) \neq y_i)$ es una función con salida 1 si la condición $(h_t(x_i) \neq y_i)$ es falsa.

Anteriormente se mencionó que un clasificador fuerte está formado por muchos débiles, más formalmente, un clasificador fuerte $H(x)$ viene dado por la sumatoria de cada uno de los *votos* realizados por los clasificadores débiles (ver ecuación 2).

$$H(x) = \text{sign}[F(x)] = \text{sign}\left[\sum_{t=1}^T \alpha h_t(x)\right] \quad (2)$$

donde α representa el grado de confiabilidad dado al clasificador débil.

Inicialmente, los valores de α para todos los clasificadores es igual, sin embargo, este valor es actualizado durante la ejecución del algoritmo variando el grado de importancia con base en la fórmula de actualización que se muestra a continuación

$$\alpha_t = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1 - \epsilon_t(h_t)}{\epsilon_t(h_t)} \right) \quad (3)$$

La entrada del algoritmo de AdaBoost es un vector con los valores obtenidos de la extracción de características tipo Haar realizada a una base de datos de imágenes tomadas con la misma cámara montada en el VANT. El número de ejemplos positivos y negativos es igual, para asegurar un correcto entrenamiento.

2.2. Estimación de posición

El problema de *Visual Servoing* relaciona un estado de posición del robot predefinida (objetivo) con respecto al estado actual de posición del robot en el tiempo. De forma general, este problema puede ser planteado como un función de error involucrando la diferencia entre los estados antes mencionados [9]. Esto se describe a continuación

$$\mathbf{e}(t) = \mathbf{s}(\mathbf{m}(t), \mathbf{a}) - \mathbf{s}^* \quad (4)$$

donde \mathbf{s} es un vector que contiene los valores actuales de las características, $\mathbf{m}(t)$ es el conjunto de mediciones extraídas de imágenes de la escena, \mathbf{a} es un conjunto de parámetros que contienen información adicional del sistema, \mathbf{s}^* es un vector que contiene los valores deseados de las características.

Para la estimación de posición se propone el uso de la homografía $H(t) \in \mathbb{R}^{3 \times 4}$, la cual relaciona un punto en el plano de la imagen (2D) con un punto en el plano de la cámara (3D), ambos expresados en coordenadas homogéneas. Los componentes de la matriz $H(t)$ consisten de la rotación y la traslación que existe entre ambos puntos.

A través de la matriz de homografía se mapea un punto en el espacio del mundo real P^C al plano de la imagen P^I con la siguiente ecuación:

$$sP^I = K[R|T]P^C \quad (5)$$

Y considerando un plano frontal, obtenemos:

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

donde s es un factor de escala; K es la matriz de parámetros intrínsecos de la cámara, siendo $f_{x|y}$ y la distancia focal y $c_{x|y}$ las coordenadas del punto central de la imagen; $R \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$ la matriz de rotación y $T \in \mathbb{R}^{3 \times 1}$ el vector de traslación.

Habiendo obtenido la matriz de homografía podemos estimar la ubicación del VANT con respecto al plano de tierra, revisando la disparidad entre un punto en la cámara P_i^C y su proyección en la imagen P_i^I . Utilizando esta información y remplazando (4), llegamos a lo siguiente:

$$e_i(t) = \mathbf{s}(P_i^C, \mathbf{K}) - P_i^{*I} \quad (7)$$

Siendo el $e_i(t)$ un indicador de cuan mal posicionado se encuentra del VANT con respecto al marcador en tierra.

2.3. Control

El control del VANT puede realizarse a través de (6) a sabiendas que la homografía contiene información de la rotación y traslación entre dos puntos. Extrayendo esta información es posible establecer una ley de control que estime la pose de la aeronave y posteriormente la corrija. Nótese que durante la transformación a un plano frontal, se pierden algunos componentes de la matriz de rotación, correspondientes al vector $r_3(r_{13}, r_{23}, r_{33})$. Sin embargo, estos pueden ser recuperados aplicando un producto punto entre $r_1(r_{11}, r_{21}, r_{31})$ y $r_2(r_{12}, r_{22}, r_{32})$ a sabiendas que la matrices de rotación son ortonormales. Debido a ruido en la matriz de homografía los vectores pueden no satisfacer la condición de ortonormalidad, es por ello necesario implementar técnicas que aseguren ésta se cumpla (ver [10]).

Conociendo la matriz de rotación es entonces posible determinar los ángulos que la conforman. La estructura de la matriz de rotación se encuentra en secuencia Tait-Bryan, por tanto:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c\theta c\psi & c\theta s\psi & -s\theta \\ s\phi s\theta c\psi - c\phi s\psi & s\phi s\theta s\psi + c\phi c\psi & s\phi c\theta \\ c\phi s\theta c\psi + s\phi s\psi & c\phi s\theta s\psi - s\phi c\psi & c\phi c\theta \end{bmatrix} \quad (8)$$

donde c simboliza la función coseno, s la función seno, ψ el ángulo *yaw* que simboliza el desplazamiento sobre el eje z ; θ el ángulo *pitch*, que representa el desplazamiento sobre el eje y y ϕ el ángulo *roll* que corresponde al desplazamiento sobre el eje x .

Y los ángulos de la matriz son obtenidos con las ecuaciones siguientes:

$$\theta = -\arcsin(r_{13}), \quad \psi = \arcsin\left(\frac{r_{12}}{\cos\theta}\right), \quad \phi = \arcsin\left(\frac{r_{23}}{\cos\theta}\right) \quad (9)$$

Obtenidos los ángulos a través de (9) y conociendo los componentes del vector de rotación se puede conocer la posición de la cámara con respecto al marco de referencia de la imagen y en consecuencia del VANT.

2.4. Marcadores de ArUco

Un punto de referencia para el presente trabajo son los marcadores de ArUco, propuestos por Garrido *et al.* en [11]. Estos marcadores, destinados originalmente a realidad aumentada, ofrecen una alternativa económica (computacionalmente hablando), rápida y robusta a tareas en donde se requiere hacer énfasis a un área específica. Para el problema de aterrizaje del VANT, el área de interés consiste del punto de aterrizaje el cual puede ser identificado a través de uno o varios marcadores de ArUco.

Entre el repertorio de funciones disponibles en la biblioteca OpenCV puede encontrarse una implementación para la detección de estos marcadores y otra para estimar la pose de la cámara. La Figura 1 ejemplifica la estimación de pose obtenido al probar un código de ejemplo, el resultado es el dibujado de los ejes x (rojo), y (verde) y z (azul), siendo este último normal al marcador.



Figura 1. Marcadores ArUco

Estas funciones, ventajosamente devuelven los componentes de rotación y traslación para cada esquina del marcador, esto permite utilizarlos para el control del VANT recordando (6) y (8). La utilización de estas funciones asegura una correcta estimación de la pose con una velocidad de detección aceptable, además, el encontrarse dentro de los paquetes de OpenCV ofrece un grado de confianza mayor ya que el proyecto OpenCV ha demostrado gran estabilidad y confiabilidad en todo lo relacionado a Visión Computacional.

3. Conclusiones y trabajo futuro

En el presente trabajo se mostraron algunas herramientas de visión computacional y Machine Learning que resolverían el problema de aterrizaje de un VANT en un punto específico. Es claro que el GPS no es adecuado para esta

tarea como consecuencia de la poca confiabilidad en la estimación de la posición, es por ello que se plantea una alternativa basada en información visual enfocada a resolver el problema de forma óptima.

De igual manera, se habló de AdaBoost, un algoritmo que ofrece un buen radio de detección con un impacto computacional bajo, algo que es deseable en aplicaciones en tiempo real, tal como el caso del aterrizaje del VANT.

Por último, se habló de los marcadores de ArUco, siendo estos una alternativa a la creación de marcadores propios como indicadores de aterrizaje. Estos marcadores han demostrado gran robustez y confiabilidad de detección y estimación de pose, información que es útil para corregir la posición del VANT.

El trabajo futuro consiste en implementar el algoritmo de estimación de pose y control en un sistema embebido que permita crear una interfaz con la computadora de vuelo del VANT de tal forma que los ángulos puedan ser ajustados automáticamente. Posteriormente, realizar las pruebas pertinentes con vuelos reales a baja altura.

Referencias

1. Alfred Kleusberg and Richard Langley. The limitations of GPS, 1990.
2. Oualid Araar, Nabil Aouf, and Ivan Vitanov. Vision Based Autonomous Landing of Multirotor UAV on Moving Platform. *Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications*, 85(2):369–384, 2017.
3. C S Sharp, O Shakernia, and S S Sastry. A Vision System for Landing an Unmanned Aerial Vehicle. *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics & Automation*, pages 1720–1727, 2001.
4. Vilas K. Chitrakaran, Darren M. Dawson, Jian Chen, and Matthew Feemster. Vision assisted autonomous landing of an unmanned aerial vehicle. *Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and Control, and the European Control Conference, CDC-ECC '05*, 2005(864):1465–1470, 2005.
5. Roman Barták, Andrej Hrasko, and David Obdrzalek. On Autonomous Landing of AR.Drone: Hands-on Experience. *Proceedings of the 27th International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference*, (Parrot):400–405, 2014.
6. Bruno Herisse, Francois Xavier Russotto, Tarek Hamel, and Robert Mahony. Hovering flight and vertical landing control of a VTOL Unmanned Aerial Vehicle using optical flow. *2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS*, pages 801–806, 2008.
7. Jonathan Courbon, Youcef Mezouar, Nicolas Guenard, and Philippe Martinet. Visual navigation of a quadrotor aerial vehicle. *2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS 2009*, pages 5315–5320, 2009.
8. P. Viola and M. Jones. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001*, 1:I-511–I-518, 2001.
9. K Hashimoto. Visual Servoing. pages 841–866, 1993.
10. I.F. Mondragón, Pascual Campoy, C. Martínez, and M.A. Olivares-Méndez. 3D pose estimation based on planar object tracking for UAVs control. *Robotics and Automation (ICRA), 2010 IEEE International Conference on*, pages 35–41, 2010.
11. S. Garrido-Jurado, R. Muñoz-Salinas, F.J. Madrid-Cuevas, and M.J. Marín-Jiménez. Automatic generation and detection of highly reliable fiducial markers under occlusion. *Pattern Recognition*, 47(6):2280 – 2292, 2014.

Interfaz gráfica para la clasificación de señales de efecto Doppler ultrasónico a partir de algoritmos de aprendizaje supervisado y no supervisado

J. R. Coba Tun¹, J. P. González González¹,
N. Hevia-Montiel², E. Molino-Minero-Re², Paulina Haro³

¹ Facultad de Matemáticas, Universidad Autónoma de Yucatán,
Av. Industrias no Contaminantes, Cordemex, Mérida, Yucatán

² Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas - IIMAS, sede Mérida,
Universidad Nacional Autónoma de México, km 5.5 carretera Sierra Papacal-Chuburná, C.P.
97302, Sierra Papacal, Yucatán

³ CONACYT Centro de Investigaciones Regionales Dr. Hideyo Noguchi, Universidad Autónoma de Yucatán, Calle 96 s/n, Col. Paseo de las Fuentes C.P. 97225, Mérida, Yucatán

jrcobatun@gmail.com

Resumen. Este proyecto se realizó para el área de Análisis Computacional para el reconocimiento de patrones. El objetivo de este trabajo es la creación de una interfaz gráfica que implemente algoritmos de aprendizaje para la clasificación de señales de efecto Doppler en cuatro distintas clases, aorta, mitral, renal y pvv. Se hace uso de distintos descriptores para señales con el objetivo de obtener características que permitan a los clasificadores tener datos óptimos para su entrenamiento y posteriormente para validar su desempeño. Es importante mencionar los materiales que se necesitaron para la realización de este proyecto, por lo que en un apartado se habla de manera clara del tipo de señales que se utilizaron, así como de donde se obtuvieron. Además, se explican algunos descriptores que se implementaron y el tipo de algoritmos de clasificación que se eligieron. En un apartado de resultados se reportan los valores que se obtuvieron al realizar las pruebas con las señales para validación. Por último, se habla sobre qué tan bueno fue el desempeño de los clasificadores, así como una conclusión del trabajo realizado.

Keywords: Matlab, Efecto Doppler ultrasónico, Modelo Murino, Descriptores, K medias, Redes neuronales.

1 Introducción

El ultrasonido es un tipo de sonido que tiene una frecuencia arriba de los 20 kHz. Es muy usada en aplicaciones médicas, una de ellas es la medición de flujo por efecto

Doppler. El efecto o modo Doppler se fundamenta en el hecho que las ondas ultrasónicas sufren un cambio de frecuencia cuando se reflejan en ángulo en un tejido que se mueve, esto permite graficar los espectros de frecuencia de los ecos recibidos. [1]

Desde el punto de vista morfológico hay dos tipos de señales: señales continuas y señales discretas. [2] Dentro de este proyecto se trabajarán con señales discretas. Debido a lo anterior uno de los objetivos de este trabajo es obtener descriptores [3] de cada señal que nos ayuden a clasificarlos.

Nos concentraremos en dos algoritmos de aprendizaje, el k medias y las redes neuronales. En este tipo de algoritmos se cuenta con un conjunto de datos de entrenamiento. Por tanto, se pretende que una vez que el sistema o algoritmo esté entrenado sea capaz de clasificar nuevos datos de entrada. [4]

El objetivo de este trabajo es la creación de una interfaz gráfica a partir de las herramientas de software de Matlab R2015a (8.5.0. 197613) que nos permita clasificar señales de efecto Doppler ultrasónico de válvulas del corazón, así como de señales periféricas renales [5].

2 Materiales/ Metodología

2.1 Señales

Se tomaron muestras de señales Doppler de ultrasonido de válvulas cardíacas y arterias periféricas de modelo murino para analizar y clasificar, las cuales dividiremos en dos clases: de entrenamiento, que provienen de ratones macho y hembra adultos; y de validación que provienen de hembras de 8 a 11 semanas de edad. Los animales fueron obtenidos del Bioterio del Centro de Investigaciones Regionales Dr. Hideyo Noguchi de la Universidad Autónoma de Yucatán. Se utilizó un equipo Pulsed Doppler Transceiver con transductores de 10 y 20 MHz, así como un Doppler Signal Digitalizer para digitalizar la señal, ambos de la marca INDUS. Para poder analizar las señales con mayor precisión se calculó la señal envolvente de los datos obteniendo una función discreta de la velocidad del flujo sanguíneo.

A diferencia de las demás señales, la Onda de Velocidad de Pulso o PWV por sus siglas en inglés [6], no es adquirida directamente del paciente, sino que es calculada posteriormente utilizando las señales muestreadas.

2.2 Descriptores

La envolvente de la señal digital Doppler de ultrasonido utilizada es un conjunto discreto y ordenado de valores de la velocidad del flujo sanguíneo muestreados con un mismo intervalo de tiempo. De esta manera, nuestra señal digital puede ser vista como una serie de N muestras de tipo $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$.

Se calcularon varios descriptores para cada señal y se fueron comparando para saber cuáles eran los que diferenciaban mejor a cada clase [3]. Algunos de ellos son los siguientes:

A. Raíz media cuadrática (RMS)

El valor medio cuadrático es una medida de la energía contenida en una señal.

$$RMS(X) = \left(\frac{1}{N} \sum_i x_i^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

B. Valor mínimo.

Se toma el mínimo valor global de la función que representa a la señal. El valor mínimo de una función periódica es igual al valor mínimo de un periodo de la función.

C. Frecuencia de cruces por cero.

La frecuencia de cruces por cero determina el número de veces que la señal cambia de un valor positivo a negativo y viceversa.

$$ZCR(X) = \sum_{i=1}^{N-1} |\text{signo}(x_i) - \text{signo}(x_{i-1})| \quad (2)$$

D. Distancia entre picos.

Se calcula la distancia en amplitud entre el pico mayor y menor de la señal, por lo que es necesario filtrarla y deshacerse de las frecuencias altas para obtener una curva suave en donde se distingan claramente los principales picos.

2.3 Clasificación.

A. K medias.

El algoritmo K medias tiene como objetivo particionar un conjunto de datos en K subconjuntos (clases) disjuntos C_1, C_2, \dots, C_N , tal que el criterio de agrupación (clustering) sea optimizado [7]. El criterio más utilizado y presentado en este proyecto es la distancia Euclideana entre el vector de características x_i y el centroide m_k de cada subconjunto C .

Se utiliza este algoritmo con dos características, el valor mínimo y RMS para separarlas en las cuatro clases antes mencionadas, con un máximo de 100 iteraciones para la actualización de los centroides.

B. Redes Neuronales

Una red neuronal artificial es un paradigma de aprendizaje automático inspirado en las neuronas de los sistemas nerviosos de los animales y humanos, consiste en un gran número de unidades simples llamadas neuronas trabajando de forma paralela, en donde las entradas (vector de características) son multiplicadas por unas variables llamadas pesos, lo cual resulta en una activación que forma la salida de la red [8].

Se implementa una red neuronal de retropropagación con cuatro características de entrada: el valor mínimo y RMS antes usados, así como los cruces por cero y la distancia entre picos. Se utilizan varias topologías de la red para observar los resultados.

3 Resultados

3.1 K medias

Para este algoritmo de clasificación se tomaron el siguiente número de muestras para su entrenamiento: 10 señales aórticas, 10 señales de mitrales, 10 señales PWV y 6 señales renales. Fueron un total de 36 señales de las cuales se obtuvieron 4 posiciones de centroides, uno para cada respectiva señal. De las 36 señales se obtuvo un 83.33% de efectividad y un error del 16.66% en su clasificación.

Posteriormente al entrenamiento se realizó una validación a la interfaz con señales de tipo aórticas, mitrales y renales distintas a las usadas en la etapa de entrenamiento. Los resultados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados de la validación con K medias.

Señal	Verdaderos positivos	Falsos negativos
Aorta	11	0
Mitral	5	3
Renal	9	0
PWV	1	3

De un total de 32 señales de prueba se obtuvo un 81.25% de efectividad y un error del 18.75% en su clasificación.

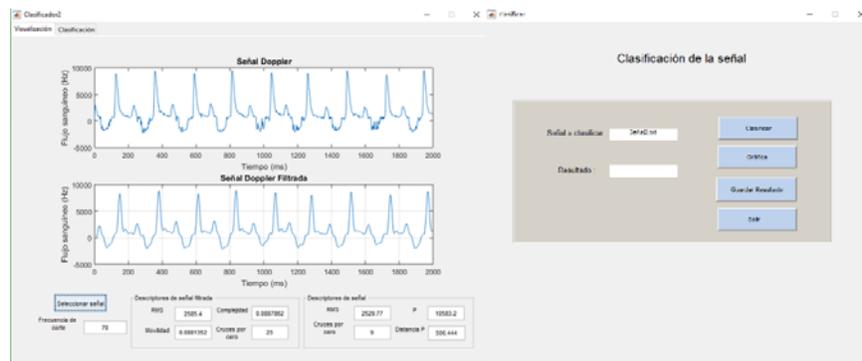
3.2 Redes Neuronales

Siguiendo la misma metodología se tomaron las 50 señales para el entrenamiento de la red. Se realizaron pruebas con las 18 señales de validación obtenidas posteriormente. En la siguiente tabla se relaciona el desempeño del clasificador con respecto a diferentes topologías de la red neuronal, modificando las capas ocultas y el número de neuronas.

Tabla 2. Resultados de la clasificación con redes neuronales.

Topología	Sensibilidad	Especificidad
1 capa 5 neuronas	79.04%	96.97%
1 capa 8 neuronas	62.38%	91.84%
1 capa 10 neuronas	84.12	94.87%
2 capas 3 y 2 neuronas	48.89%	92.09%
2 capas 4 y 6 neuronas	67.94%	92.31%
2 capas 10 y 10 neuronas	69.84%	87.17

Para cada topología se generó una matriz de confusión que contiene el número de verdaderos positivos y falsos positivos para conseguir los indicadores siguientes. Debido a que la sensibilidad y la especificidad son medidas obtenidas para clasificaciones binarias se calculan ambos valores para cada clase, es decir, si las señales fueron clasificadas de manera positiva o negativa a la clase original. Finalmente se calcula el promedio con los resultados de todas las clases.

**Fig1.** Interfaz gráfica en MATLAB.

Se implementó una interfaz gráfica en el software MATLAB (Fig. 1) para la visualización de las señales y el cálculo de los descriptores mencionados; como característica principal contiene un clasificador que indica el tipo de señal de validación introducida, utilizando alguno de los algoritmos mencionados.

4 Discusión

Analizando el desempeño de los clasificadores y los resultados podemos hacer las siguientes afirmaciones de los descriptores. Se observa que las señales de válvula aórtica presentan un mayor índice RMS que las señales de la válvula mitral y las divide con alta eficacia. El valor mínimo de las señales de válvulas cardíacas es significativamente

menor que el observado en las señales de las arterias periféricas. Aunado a ello las señales de arterias periféricas suelen tener ningún o muy bajo número de cruces por cero en comparación con las señales de válvulas cardíacas, que presentan uno o dos cruces por cada periodo, con ello ambos descriptores ayudan a dicha separación. Una característica importante observada es que los descriptores RMS y distancia entre picos se comportan de manera proporcional, por lo que se podría descartar alguno de ellos. Finalmente, las señales PWV fueron las que causaron más problemas ya que no tienden a agruparse conforme a sus descriptores, por lo que suelen ser el resultado de una clasificación errónea. Con respecto a los clasificadores se puede decir que el clasificador basado en el algoritmo de redes neuronales presenta mejores resultados al clasificar con mayor efectividad las señales. Respecto a K medias se obtuvieron centroides muy buenos para las señales de aorta y mitral, lo cual no se puede decir de las señales renales y PWV ya que al contar con pocos datos de entrenamiento no se logran obtener centroides óptimos para la clasificación. La topología para las redes neuronales de retropropagación que asegura una mejor clasificación entre las propuestas presenta una capa oculta con 10 neuronas y función de activación tipo sigmooidal.

5 Conclusión

En el área de reconocimiento de patrones es esencial obtener descriptores que permitan reconocer el comportamiento de las señales u objetos de estudio con el fin de observar diferencias significativas entre ellas para así desarrollar algoritmos que los clasifiquen dependiendo las características que presenten.

Proyecto apoyado por el CONACYT PDCPN2015-102.

Referencias

1. Avendaño, G., Muñoz Gamboa, C.; Sensores y transductores biomédicos. 1st edn. México, D.F (2009).
2. Milone, D. H., Rufiner, H. L., et al.; Introducción a las Señales y los Sistemas Discretos. (2009).
3. González, J., Conci, A., Pupo, Y., Nardi, L., Lebon, F.; On the efficiency of some signal descriptors to identify normal or abnormal cardiac rhythms. 11th International Workshop on Multimedia Information and Communication Technologies, 51-54 (2017).
4. <http://www.it.uc3m.es/~jvillena/irc/practicas/08-09/06.pdf>, último acceso 2017/11/24.
5. Rivas Cisneros, D. E.; Análisis de anomalías del corazón por métodos topológicos. División de estudios de postgrado, Universidad Autónoma de Nuevo León (2013).
6. Calabia, J.; Medida de la Velocidad de Onda de Pulso mediante Ecografía Doppler: Concordancia con el Método Complior. Departamento de Medicina de la Universitat Autònoma de Barcelona (2010).
7. Likas, A., Vlassis, N., Verbeek, J.; The global k-means clustering algorithm. Pattern Recognition 36, 451 – 461 (2003).
8. R. Kruse et al., Computational Intelligence, Texts in Computer Science, pp. 9-10.

Análisis morfológico automático de ventrículo izquierdo empleando descriptores discretos a partir de ecocardiografía en modelo murino.

Félix Román Ehuan Colli¹, Nidiyare Hevia-Montiel², Ana Paulina Haro Álvarez³

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Av. Industrias no Contaminantes, Cordemex, Mérida, Yucatán.

² Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, sede Mérida, Universidad Nacional Autónoma de México, km 5.5 carretera Sierra Papacal - Chuburná, C.P.97302, Sierra Papacal, Yucatán.

³ CONACYT-Centro de Investigaciones Regionales Dr. Hideyo Noguchi, Universidad Autónoma de Yucatán, Calle 96 s/n, Col. Paseo de las Fuentes C.P. 97225, Mérida, Yucatán.
fnixro2@gmail.com

Abstract. El presente trabajo fue diseñado para analizar temporalmente los cambios en la morfología del ventrículo izquierdo y el septo interventricular a partir de ecocardiografías en un modelo murino. Se presenta una serie de descriptores morfológicos discretos en dos dimensiones, desarrollados con base en códigos cadena de cambios de pendiente para el análisis de curvas bidimensionales, abiertas y cerradas, así como el análisis de la firma morfológica. En este trabajo se analizaron secuencias de video de ecocardiografías con vista paraesternal derecha de 5 cámaras. Fueron extraídos los cuadros individuales de dichas secuencias de video, posteriormente de cada cuadro se obtuvo manualmente el contorno de las regiones de interés, los índices morfológicos y la firma morfológica. Se observaron similitudes entre las imágenes ecocardiográficas de cada modelo y concordancia entre los índices morfológicos y las regiones de interés. Se presentan también las diferencias entre las regiones de interés y los índices pertenecientes a esas regiones.

Keywords: Indicadores morfológicos, Ecocardiografía, Código cadena.

1 Introducción

Uno de los hechos más relevantes que se han producido en el campo del diagnóstico no invasivo en la Cardiología ha sido la aparición de técnicas de ultrasonido, que permiten de una manera sencilla, repetible y fisiológica estudiar la patología cardíaca [1]. El análisis de ecocardiografías permite el análisis cuantitativo de diversos parámetros de la función cardíaca que son básicos para indicar el pronóstico, así como estudiar su evolución, e indicar pautas de actuación tanto médicas como quirúrgicas en las diversas enfermedades cardíacas, donde pueden tratarse de parámetros morfométricos de la función ventricular.

El estudio de los cambios morfométricos en ventrículos cardíacos ha mostrado en pacientes hipertensos distintos patrones basados en la relación entre el diámetro de la cavidad y el espesor parietal, reportando presencia de ventrículos con geometría normal, con hipertrofia excéntrica (HE), con hipertrofia concéntrica (HC) y con

remodelado concéntrico (RC), donde la adaptación geométrica del ventrículo izquierdo a la sobrecarga de presión ha sido asociado con diferentes patentes hemodinámicas. Mucha información de aspectos morfológicos, funcionales o moleculares del corazón dependen de análisis post-mortem, donde una necropsia es una limitante en el monitoreo de cambios progresivos o un seguimiento longitudinal [2].

Con el uso de la imagenología médica digital, se requiere realizar análisis dentro de un dominio discreto a partir de píxeles, como el análisis morfométricos con el uso de descriptores de forma discreta, como se muestra en este trabajo. En la sección de metodología se presentará la aplicación de algunos descriptores discretos propuestos en la literatura para llevar a cabo el análisis temporal de los cambios de forma presentados en ecocardiografías.

2 Material y Métodos

2.1 Animales

Los animales fueron obtenidos en el Bioterio del Centro de Investigaciones Regionales Dr. Hideyo Noguchi de la Universidad Autónoma de Yucatán y manejados siguiendo la Norma Oficial Mexicana NOM-ZOO-062 y la Guía para el cuidado y uso de Animales de Laboratorio en su octava edición. Se emplearon 2 ratones de la cepa ICR machos de 8-10 semanas de edad y de 30 gr. de peso.

2.2 Procedimientos

Los animales fueron anestesiados utilizando la combinación de Xilacina a dosis de 10 mg/kg y Ketamina a 100 mg/kg aplicada vía intramuscular. Posteriormente, se colocaron de cúbito supino, se rasuró la piel del hemitórax derecho y región del xifoides y se aplicó gel. Para obtener las imágenes ecocardiográficas se utilizó el equipo de ultrasonido modelo Mylabseven ESAOTE y un transductor lineal de 22 MHz. Se obtuvieron imágenes del corazón en modo B, en eje largo y eje corto. Para obtener imágenes en eje largo, vista de 5 cámaras, el transductor fue colocado en el hemitórax izquierdo paralelo a la columna con la marca hacia la cabeza. A continuación, el transductor fue rotado 90° en contra de las manecillas del reloj para obtener la vista transversal del ventrículo izquierdo a nivel de los músculos papilares.

2.3 Conceptos y definiciones

Códigos cadena

El código cadena de una curva representa los cambios de pendiente entre segmentos continuos de la curva, estos cambios son escalados en un rango continuo que varía de -1 a 1. El código cadena de una curva es independiente de su traslación y rotación [3].

Acumulado de pendiente, cambio de pendiente medio y tortuosidad.

El acumulado de pendiente A_{cc} de una cadena es la suma de todos los cambios de pendiente alrededor de la curva, se define como Ec. 1:

$$A_{cc} = \sum_{i=1}^n a_i \quad (1)$$

El cambio de pendiente promedio a_m de una curva es la media aritmética de todos los cambios de pendiente alrededor de la curva, es decir, el acumulado de pendientes dividido entre el número de elementos. Se define como Ec. 2:

$$a_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{1}{n} A_{cc} \quad (2)$$

La tortuosidad τ es la suma de todos los valores absolutos de cambios de pendiente en una cadena de elementos; se expresa como en la Ec. 3[4]:

$$\tau = \sum_{i=1}^n |a_i| \quad (3)$$

No-circularidad

La no-circularidad es la suma de los valores absolutos de las diferencias entre los elementos de cadena y el cambio de pendiente promedio, Ec.(4) [4]:

$$D_c = \sum_{i=1}^n |a_i - a_m| \quad (4)$$

Firma Morfológica

Es el vector de la diferencia de la posición de los elementos de una curva respecto al centroide de la curva cerrada.

$$F_m[i,j] = X_{ij} - C_{xy} \quad (5)$$

Con esta firma es posible la reconstrucción de la forma de la curva, independientemente de su ubicación, este descriptor no es independiente del tamaño de la curva.

2.4 Conversión Video-Imagen 3D, procesamiento y análisis de descriptores**Conversión de video - imagen 3D**

Los videos de ecocardiografía adquiridos fueron procesados y transformados en un conjunto de imágenes NIfTI para trabajar en las 3 dimensiones espaciales (x, y, z). El algoritmo usado toma cada cuadro del vídeo y lo guarda dentro de una matriz de 4 dimensiones, esta matriz es representada en la Ec. 6, en la cual se representan valores de gris en valores enteros de 8 bits (0-255), sus coordenadas espaciales, la capa de

color en la que se encuentra (RGB) y la parte temporal de la imagen, en la cual se asigna un valor entero a cada cuadro del vídeo.

$$I[x, y, RGB, t] = \text{cuadro de imagen capturada en vídeo} \quad (6)$$

La imagen fue convertida a escala de grises, posteriormente se realizó un cambio de columna para que finalmente obtengamos la siguiente equivalencia Ec. 8:

$$I_{gray}[x, y, z] = I_{RGB}[x, y, t] \quad (7)$$

Esto genera un volumen de 1068x800x119 píxeles.

Regiones de interés

Con el apoyo del Laboratorio de Parasitología del Centro de Investigaciones Regionales Dr. Hideyo Noguchi, se realizó la delimitación manual de la región de ventrículo izquierdo y del septo interventricular en corte longitudinal cada tercer cuadro del volumen 3D en las imágenes ecocardiográficas obtenidas. Posteriormente, se realizó un proceso de detección de bordes discretos, con base en el algoritmo de Moore [5], a partir de las máscaras binarias de cada región de interés obtenida, como se observa en la Fig. 1

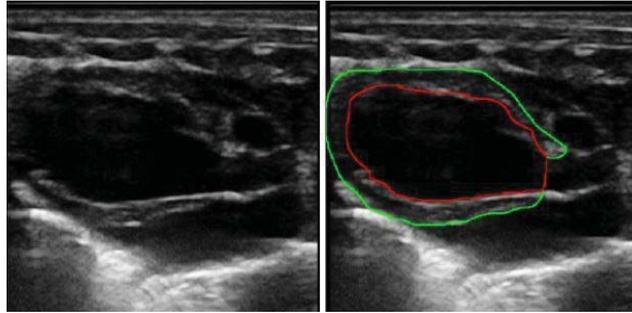


Fig. 1. Imágenes ecocardiográficas en modo B, en eje largo con vista de 5 cámaras, a la izquierda adquisición original y a la derecha los contornos correspondientes a la cavidad de ventrículo izquierdo (rojo) y a la región del septo interventricular (verde).

Los contornos fueron procesados por el algoritmo implementado para la obtención de descriptores morfométricos discretos obteniendo: descriptores escalares y descriptores vectoriales. Los descriptores escalares proporcionan una idea general de la curva cerrada (tortuosidad, no-circularidad). Los descriptores vectoriales dan información de cada elemento que conforma la curva (firma morfológica).

3 Resultados

En la Fig. 2(a) se observa el comportamiento de los valores obtenidos para la no-circularidad correspondientes a dos casos de estudio; la gráfica en color azul corresponde al septo interventricular del ratón 2 (R3IVS), la gráfica naranja

corresponde al septo interventricular del ratón 1 (R2IVS), por consiguiente, en la Fig. 2(b), la gráfica naranja hace referencia al ventrículo izquierdo del ratón 2 (R3IVS) y la azul hace referencia al ventrículo izquierdo del ratón 1 (R2LV).

En este análisis preliminar se observa una correspondencia entre las tendencias de las gráficas del ventrículo y septo interventricular para cada ratón. Sin embargo, para realizar un análisis y comparación entre los casos de estudio para cada región de interés de la Fig. 2(a) y (b), es necesaria una sincronía de los cuadros del video en cuanto a un punto de referencia de la actividad cardíaca. Siendo esta etapa de manera subjetiva se puede decir que existe un comportamiento similar para la región de ventrículo izquierdo Fig. 2(b) entre los casos de estudio.

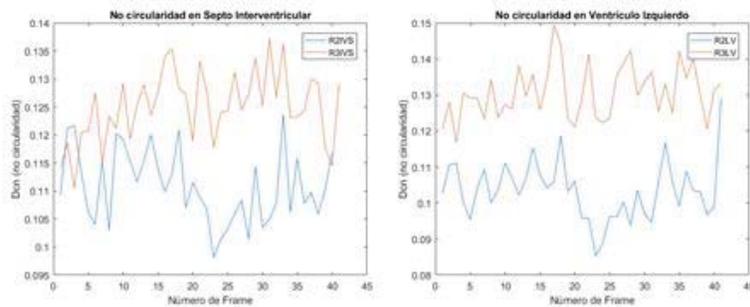


Fig. 2. a) Valores de no circularidad para el septo interventricular (izquierda) b) Valores de no circularidad para el ventrículo izquierdo (derecha)

Se propone en este trabajo caracterizar cambios en la morfología ventricular asociados al descriptor de la no-circularidad buscando cambios importantes en este descriptor y asociar los resultados a patologías como hipertensión arterial o miocardiopatía hipertrófica obstructiva ya que estas producen hipertrofia ventricular izquierda.

A partir de la gráfica se determinaron los cuadros en los que ocurre el mínimo y el máximo índice de no circularidad, en ambos ratones; sobreponiendo las imágenes para corroborar el valor del índice obtenido como se muestra en la Fig. 3.

La compacidad es mayor cuando la no circularidad es mínima, ya que se trata de un área más compacta al igual que menos tortuosa. También de forma subjetiva podemos describir la morfología del área del ventrículo izquierdo, en el cual para la no circularidad mínima (blanco) se observa una protuberancia, correspondiente a la contracción interventricular isovolúmetrica en el ventrículo izquierdo, dicha protuberancia está delimitada por la válvula mitral. Caso contrario en el momento de no circularidad máximo (gris) se asocia subjetivamente al momento de relajación interventricular isovolúmetrica, momento donde el ventrículo izquierdo se encuentra más expandido. Sin embargo, no se podría dar algo concluyente al respecto por la falta de sincronía con eventos como la sístole y diástole del paciente. Con la finalidad de continuar con el estudio se propone analizar la correlación existente entre eventos fisiológicos del corazón y los descriptores obtenidos.

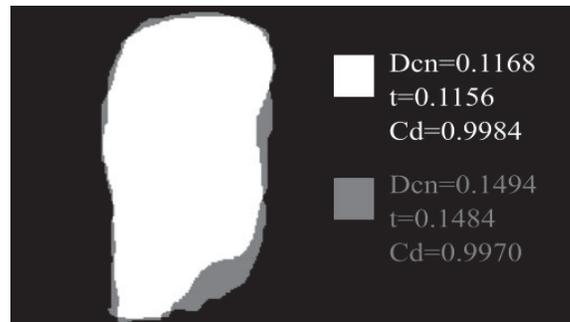


Fig. 3. Superposición del área del ventrículo izquierdo del ratón 3, se muestra la no circularidad máxima (gris) y mínima (blanco), así como la tortuosidad y la compacidad.

2.5 Discusión y conclusión

Este es un trabajo y análisis preliminar para la caracterización de la función cardíaca a partir de descriptores morfológicos en ventrículo izquierdo y septo interventricular en ecocardiografías. Se encuentra en una etapa inicial de implementación de protocolos para la adquisición y análisis de la información. Se han implementado algunos descriptores discretos de forma y se han probado en ecocardiografías de dos casos reales.

Se requiere complementar el protocolo para análisis de datos con una etapa para registrar y sincronizar la información con referencias fisiológicas cardíacas para poder hacer comparación interpacientes, así como un análisis en relación a la resolución de las imágenes y si influye en los valores de los descriptores obtenidos.

Agradecimientos: Proyecto apoyado por el CONACYT (Ref: 2015-01-102).

Referencias

- [1] García Fernández M A, Zamorano J L y García Robles J A. Manual de ecocardiografía, Ed. EDIMED, I.S.B.N.: 84-688-9698-5, (2004).
- [2] Sehgal S, and Drazner MH. Left ventricular geometry: Does shape matter?. *Am Heart J*, 153, 153-155 (2007).
- [3] Bribiesca E. A measure of tortuosity based on chain coding. *Pattern Recogn.* 46(3), 716-724. (2013).
- [4] Bribiesca E. A Contour-Oriented Approach to Shape Analysis via the Slope Chain Code. *International Journal of Contemporary Mathematical Sciences*, 11(2), 65-84, (2016).
- [5] Gonzalez R. C., Woods R. E., Scott A. H., y Hall P. P., *Digital Image Processing, Third Edition*, (2011).

Generación de ortomosaicos con base en el modelo 3D de la superficie terrestre obtenido mediante un dron

Omar Martinez-Aranda, Arturo Espinosa-Romero, Anabel Martin-Gonzalez

Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Matemáticas,
Computational Learning and Imaging Research
Anillo Periférico Norte, Mérida, Yucatán, México
martinez.aranda.omar@gmail.com, {eromero, amarting}@correo.uady.mx

Resumen Los vehículos aéreos no tripulados (VANT) comerciales son una alternativa rápida y económica para recorrer vastas regiones de terreno con diversos objetivos como vigilancia, mapeo y/o modelado tridimensional. En los dos últimos casos, estas tareas pueden realizarse durante el vuelo o en tierra. Para obtener mejores resultados es deseable que el procesamiento se realice de manera autónoma y en tiempo real. Por lo tanto, en este trabajo se propone el desarrollo de un algoritmo para el barrido autónomo de un área para poder realizar la costura de imágenes, tomando en consideración la profundidad del entorno cuando éste posea características relevantes.

Palabras Clave: Matriz Esencial, Reconstrucción 3D, Fotografía aérea, VANT

1. Introducción

La fotogrametría es la ciencia de obtener información cuantitativa confiable de fotografías aéreas y como resultado más común de ésta, es la elaboración de mapas geográficos [15]. El auge de los VANT (vehículo aéreo no tripulado) o drones y su capacidad de captura de imágenes aéreas, crea un nicho interesante para la fotogrametría, puesto que reduce su costo y se realiza de manera rápida, en comparación de la fotogrametría tripulada. Los drones adicionalmente son una importante fuente de información para la inspección, vigilancia y modelado 3D. Éstos pueden ser de ala fija o rotatoria y sus motores pueden ser de combustión interna o eléctricos. En general, los drones pueden tener características muy particulares por ello existe un gran variedad de los mismos [5].

El objetivo de este trabajo es plantear una metodología automática para obtener imágenes aéreas ortorectificadas (proyectadas ortogonalmente para eliminar las distorsiones) que se utilizarán para generar un mosaico (fig. 1). El cómputo que implica dicha metodología se plantea llevar a cabo en tiempo real con la ayuda de una plataforma de cómputo paralelo. Para obtener la ortorectificación es necesario contar con un modelo tridimensional del terreno. El modelo se obtiene de un conjunto de imágenes que provienen de una misma región,

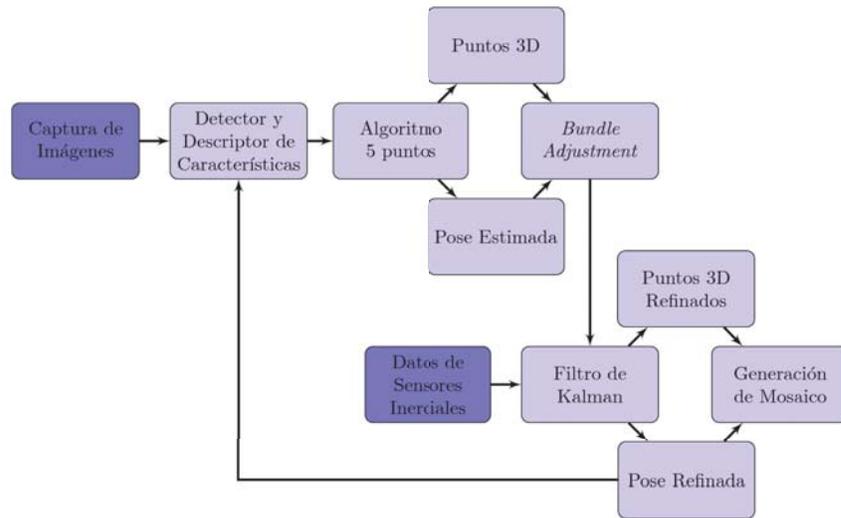


Figura 1. Diagrama general de funcionamiento

para luego extraer las ubicaciones de características de cada imagen las cuales son trianguladas para calcular la elevación del terreno. Los resultados de estos cálculos están en coordenadas universales (libres de escala) y a través del uso de mediciones de los sensores inerciales y mediciones de una unidad GPS en el dron se podrán obtener mediciones adecuadamente escaladas.

Fraundorfer y Scaramuzza [4] expresan que existen dos formas generales de emparejamiento de puntos de una imagen con otra: el disperso, que toma un pequeño porcentaje de puntos (características) por imagen; y el denso que empareja todos los puntos de la imagen o un alto porcentaje de ella. La consecuencia directa de ambos enfoques es una nube dispersa o densa de puntos tridimensionales. Nex y Remondino [5], argumentan que generalmente se debe preferir las nubes densas en la reconstrucción de terrenos y superficies, mientras que las dispersas se usan para información poligonal simple, como edificios.

Los mosaicos de imágenes son el alineamiento de múltiples imágenes en una composición mayor, la cual representa una porción de una escena tridimensional y está compuesta, de manera general, por tres pasos [1]. El primero es el registro de cada imagen en un marco de referencia global, el cual contiene a toda la escena. El segundo es la reproyección, donde cada imagen puede ser transformada a un punto en el marco de referencia global. Y por último, el *blending* que es la mezcla, de manera armónica de todas las imágenes.

Es interesante construir mosaicos ortorectificados de un terreno, puesto que de ellos podemos obtener directamente mediciones geométricas (Fig. 2). El proceso de ortorectificar un mosaico de imágenes aéreas arroja una vista superior en donde algunos de los efectos de la proyección perspectiva son minimizados .

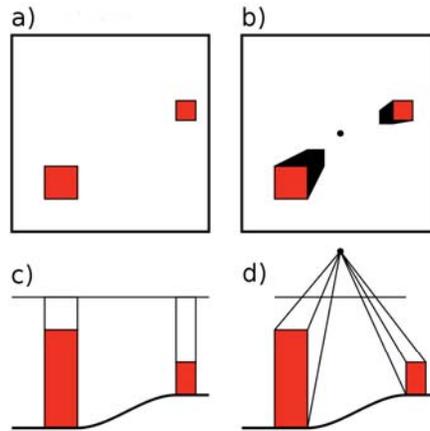


Figura 2. a) vista ortogonal de la superficie. b) vista perspectiva de la superficie. c) proyección ortogonal de la superficie terrestre en la imagen. d) proyección de la superficie terrestre de forma perspectiva en la imagen. Original tomada de [17]

Para realizar la ortorectificación de las imágenes es necesario tener el modelo tridimensional de la superficie, y a pesar de que Nex y Remondino [5] recomiendan usar la aproximación dispersa para objetos poligonales (*i.e.* estructuras hechas por el hombre), resulta interesante construir dicho modelo con aproximaciones a partir de nubes dispersas de puntos tridimensionales. Planteamos utilizar este último enfoque para evitar la enorme carga computacional de un emparejamiento denso de características.

Dependiendo de la altura de sobrevuelo del dron y/o de las variaciones de altura en la superficie puede elegirse de manera dinámica un modelo planar (para el caso donde la altura es mucho mayor a los cambios elevación en el terreno) o su contraparte, un modelo tridimensional, para la generación del mosaico.

Este trabajo tiene varios precedentes, entre los que destacan Sánchez-Machay [8] quien propuso un sistema de captura de imágenes autónomo para generar un mosaico donde en cada momento el sistema decide capturar o no una imagen dependiendo de la utilidad para el mosaico, esto lo hace a través de la estimación de homografías, Maldonado-Lopez [11] quien trabajo en una estimación robusta de la pose del dron mediante la fusión sensorial de los sensores de posicionamiento global (GPS por sus siglas en ingles) y de la unidad de medición inercial, Tolosa-Garma [9] quién mejora el trabajo de Sánchez-Machay al agregar una medida de la información contenida en la superposición de imágenes para decidir la elegibilidad de las imágenes para el mosaico, esta medida de información es un detector de esquinas el cual ejecuta en una plataforma paralela, Martínez-Magaña [10] va un paso más adelante y agrega un registro global usando el método de *Bundle Adjustment*, que igual que en [9], lo implementa en una plataforma paralela logrando una ganancia en velocidad de computo de tres a seis veces comparado

con un sistema secuencial y por último Turriza-Suarez [12] quien propuso implementar un sistema de navegación cinética satelital para drones con una precisión medible en centímetros, esto como apoyo en la planeación de rutas.

2. Metodología

Para generar el mosaico ortorectificado se necesita el modelo tridimensional del terreno, el cual se obtiene al realizar el refinamiento de la ubicación tridimensional de características previamente extraídas de las imágenes y emparejarlas entre un conjunto de imágenes usando *bundle adjustment*. Con esta información y la pose del dron se obtiene una escala real de los puntos en el espacio. Con el fin de minimizar la incertidumbre en la pose del dron y a su vez permitir la estimación de poses futuras planteamos utilizar un filtro de Kalman.

Esta sección se dedica a enfatizar las acciones generales para finalizar los objetivos de esta propuesta.

Instrumentación del dron: Ensamblar el hexacoptero *Tarot T960* (carga útil dos a tres kilogramos), mecánica y eléctricamente el dron. Este paso incluye la carga del *firmware* a la computadora de vuelo, conexión de los periféricos, calibración de los sensores inerciales, calibración de los controladores de motores, configuración y calibración del control del dron.

Calibración de la cámara: Aunque existen métodos para obtener poses de la escena sin el conocimiento *a priori* de los parámetros intrínsecos de la cámara, resulta interesante obtenerlos de antemano, para usar algoritmos más simples y rápidos. Se usa la cámara *Go Xtreme HD720p* la cual captura vídeo de 720p a 30 cuadros por segundo con un ángulo de la lente de 120 grados.

Implementación del método de cinco puntos para obtener la matriz esencial E : La matriz esencial permite realizar una estimación débil o primitiva, de parámetros extrínsecos de la cámara (orientación y posición). La matriz esencial E es una representación algebraica de la geometría epipolar y para calcularla es necesario un conjunto de correspondencias entre ambas imágenes [16]. Se espera obtener coplanaridad en muchos de los puntos detectados por lo que el método de ocho puntos de Longuet-Higgins [6], por lo que se plantea implementar el algoritmo de cinco puntos de Nistér [7] en una plataforma paralela. Este algoritmo si opera en superficies planas y estima la matriz esencial a partir de cinco correspondencias entre las dos imágenes.

Bundle Adjustment: Luego de obtener las estimaciones débiles de un conjunto de imágenes donde cada una de ellas comparte características en una o más imágenes se procede a realizar una optimización de todas las rotaciones y translaciones en el conjunto para que el error de proyección sea el menor posible. Este es el problema de *Bundle adjustment*, el refinar una reconstrucción visual para producir una estructura tridimensional óptima y conjunta, así como de la pose del observador. Como óptimo se entiende que los parámetros estimados se encuentran al minimizar una función de costo que cuantifica el error, por otro lado, en lo referente a conjunto, es que la solución es óptima simultáneamente con respecto a la estructura y las variaciones de la cámara [14].

Filtro de Kalman: Para nuestros propósitos el estado es la velocidad y la pose de la cámara, y las mediciones se harán mediante la fusión de los datos de las imágenes y de los sensores inerciales del dron. Esto se hace con dos objetivos, el primero es la ubicación de los puntos tridimensionales con distancias reales y la segunda es reducir la incertidumbre de las estimaciones.

Generación de mosaicos: El desarrollo de esta etapa se basa en el trabajo de Sánchez-Machay [8], donde realiza un mosaico a través del modelo planar del terreno sin procesar ninguna imagen durante el vuelo. Las diferencias principales del trabajo aquí propuesto es que las imágenes deben de ser procesadas en tiempo de vuelo puesto que es necesario el rastreo y seguimiento de características para obtener la aproximación tridimensional del terreno.

3. Conclusiones

El presente artículo presenta la propuesta de un sistema para la generación de mosaicos ortorectificados. Se plantea un algoritmo de estimación por partes donde se asume un modelo de proyección planar (*i.e.* el mapeo entre imágenes se describen buscando homografías) y un modelo tridimensional donde el mapeo se describe usando un modelo epipolar. El algoritmo debe caracterizarse por brindar autonomía al dron y ejecutarse en tiempo real con ayuda de plataformas paralelas.

Referencias

1. Capel, D.: Image Mosaicing and Super-resolution. Springer, London (2004)
2. Faragher, R.: Understanding the basis of the Kalman filter via a simple and intuitive derivation. IEEE Signal processing magazine, vol. 29, no 5, p. 128-132. (2012)
3. Scaramuzza, D. Fraundorfer, F.: Visual Odometry: Part I: The First 30 Years and Fundamentals. IEEE Robotics & Automation Magazine (2011)
4. Fraundorfer, F., Scaramuzza, D.: Visual odometry: Part II: Matching, robustness, optimization, and applications. IEEE Robotics & Automation Magazine, vol. 19, no 2, p. 78-90. (2012)
5. Nex, F., Remondino, F.: UAV for 3D mapping applications: a review. Applied Geomatics, vol. 6, no 1, p. 1-15. (2014)
6. Longuet-Higgins, H. C.: A computer algorithm for reconstructing a scene from two projections. Nature, vol. 293, no 5828, p. 133-135 (1981)
7. Nistér, D.: An efficient solution to the five-point relative pose problem. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol. 26, no 6, p. 756-770 (2004)
8. Sánchez-Machay, I.: Automatización de un sistema de captura de fotografía aérea para la generación de mosaicos de imágenes. Yucatán (2014)
9. Tolosa-Garma, I.: Detector de esquinas en tiempo real implementado en arquitectura SIMD para sistema autónomo de captura de imágenes aéreas, Yucatán (2014)
10. Martínez-Magana, J.: Paralelización de bundle adjustment en una plataforma embebida. Yucatán (2016)
11. Maldonado-Lopez, L.: Estimación robusta de pose de un vehículo aéreo no tripulado. Yucatán (2014)

12. Turriza-Suarez, A.: Implementación de un sistema de navegación cinética satelital para asistir en el control de posición de vehículos aéreos no tripulados. Yucatán (2017).
13. Thrun, S., Burgard, W., Fox, D.: Probabilistic robotics. MIT press, (2005)
14. Triggs, B., McLauchlan, P. F., Hartley, R. I., Fitzgibbon, A. W.: Bundle adjustment—a modern synthesis. International workshop on vision algorithms. Springer, p. 298-372. Berlin, Heidelberg, (1999)
15. Paine, D., Kiser, J.: Aerial photography and image interpretation. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey (2012)
16. Hartley, R., Zisserman, A.: Multiple view geometry in computer vision. Cambridge University Press, Cambridge (2003)
17. Kuiper, P.: Wikimedia Commons, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:OrthoPerspective.svg>. Última visita 29/11/17

Un modelo matemático simple del calentamiento global

Daniel Antonio Brito Pacheco

Abstract. El planeta Tierra se encuentra en constante cambio. Desde la creación del Sistema Solar a partir de una gran nube de gas y polvo, nuestra pequeña canica azul no ha permanecido estable – en todos los sentidos. La tierra siempre cambia, es imposible que permanezca quieta y sin cambio. Así como todo en nuestro mundo, con el paso del tiempo, la temperatura cambia.

Esto último nos provee con una idea. ¿No será que podamos entender de la temperatura global como una función del tiempo? Ésta pregunta la trataremos de resolver en el presente escrito. Primeramente se realiza un modelo extremadamente simple que considera el flujo de energía que experimenta la Tierra como una constante y posteriormente, se propone un modelo más realista tomando en cuenta la temperatura para el cálculo del flujo de energía.

1 Introducción

1.1 La meteorología

La meteorología es la rama de la física que busca predecir procesos del clima estudiando la atmósfera. Se centra en unos cuantos conceptos y ecuaciones principales, pero en este trabajo nos concentraremos, más que nada, en las leyes de la termodinámica y cómo éstas dan lugar al calentamiento del planeta. Son estas leyes y principios las que permiten que la Tierra obtenga energía del Sol y se caliente.

1.2 Calor y Temperatura

Dos conceptos que en la vida cotidiana confundimos mucho son el de calor y temperatura. Mucha gente trata una como la otra, en nuestras mentes pensamos que es casi lo mismo. Sin embargo, son dos términos cuya definición en la física es muy diferente.

El calor es la energía cinética (de movimiento) total de todos los átomos o moléculas que conforman un cuerpo, mientras que la temperatura es la medida promedio de la energía cinética de cada molécula. Cuando a un cuerpo se le agrega calor, se observa un incremento en la temperatura por la aumentada energía cinética en las moléculas que lo componen. (Inzunza, 2007)

Claramente estos dos conceptos se relacionan muy íntimamente, pues la temperatura (medida en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), Kelvin ($^{\circ}\text{K}$), Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$)) de un objeto está ligada al calor que se le es transferido o que él mismo transfiere (medido en Watts (W), Joules (J), calorías (cal)).

1.3 Las leyes de la termodinámica

Estas 3 leyes dan la base para toda interacción entre un sistema y su entorno. Sin embargo, solamente desglosaremos dos de ellas. El sistema se separa del entorno por una frontera, uno debe asegurarse de definir claramente lo que constituye a esta separación. Esto último con el fin de evitar confusiones para saber a dónde pertenece un objeto del mundo. El entorno puede realizar trabajo sobre el sistema y viceversa y entre sí pueden intercambiar calor.

La primera ley de la termodinámica es una que la mayoría de la población ha oído con otro nombre. En las escuelas se le conoce a ésta como la Ley de Conservación de la Energía. Esta ley garantiza que la energía interna del sistema (o temperatura) puede cambiar si el entorno realiza trabajo sobre él (sube la temperatura) o si el sistema

realiza trabajo sobre el entorno (baja la temperatura). Además, la entrada o salida de calor del sistema genera cambios en su temperatura. (Cengel, 2012)

La segunda ley, en términos simples, establece la dirección en la cual se da la transferencia de energía. La segunda ley nos dice que la energía parte de algo con mayor calor y se dirige a otra cosa con menor calor. Esta ley también habla de la entropía. Podemos entender de la entropía como el grado de desordenamiento en un sistema. La segunda ley garantiza que en un sistema cerrado la entropía incrementa con el paso del tiempo; un hielo se derrite en un vaso con agua por esto. El hielo no podrá mágicamente congelarse de nuevo porque para esto se necesita un flujo de energía en el sistema. (Ting, 2016)

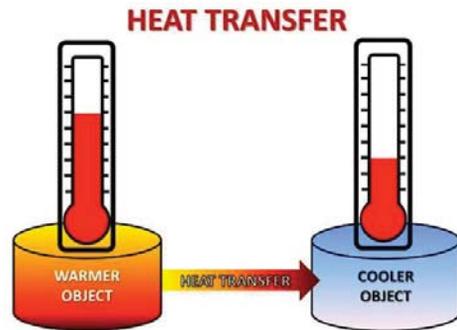


Fig. 1. El flujo de energía va de un objeto caliente hacia uno frío.

La tercera ley habla sobre las propiedades de las moléculas en una temperatura de cero absoluto. No es necesario discutirla para obtener el modelo en este trabajo.

1.4 Transferencia de calor

El calor tiene a su disposición más de una manera para ser transferido de un objeto a otro. Son 3 maneras principales cada una con características distintas a las demás, la conducción, la convección y la radiación.

La conducción es generada por las colisiones entre las moléculas de cada objeto. Es decir, para que exista conducción de calor, se requiere que los cuerpos estén en contacto directo. Es decir, cuerpo a cuerpo. Sin embargo, no necesariamente se requieren dos objetos separados. Tomemos como ejemplo un alambre de cobre – al transferirle energía térmica a un extremo del alambre, ésta se propagará hasta alcanzar el otro extremo. En este ejemplo, la distribución de calor dentro del cuerpo se da por la colisión de las mismas partículas de cobre con sus partículas vecinas.

La convección es la transferencia de calor que se da por la circulación de las moléculas en un mismo cuerpo. Es lo que sucede cuando las partículas de la sustancia se revuelven entre sí. Como se requiere el flujo de moléculas de un lugar del cuerpo a otro, esto solamente puede ocurrir en un fluido.

El último método de transferencia de calor es el que más nos servirá para el modelo. Para la radiación no se necesita que haya choques de moléculas, no se necesita ni siquiera un medio material para propagar el calor. La radiación es la transferencia de energía térmica por medio de ondas electromagnéticas. Esta radiación es la principal razón por la que sientes calor cuando te acercas a una fogata ardiente. (Inzunza, 2007)

1.5 Calentamiento del globo

Recordemos la segunda ley de termodinámica. Establece que el calor (o energía) de un objeto con mayor temperatura fluye en dirección de uno con menor temperatura. En un día frío, los humanos prendemos la calefacción para subir la temperatura del ambiente y nuestros cuerpos de tal manera que dejemos de sentir frío; esto sucede por la radiación que emite la calefacción y también el aire que se calienta por convección. En el sistema solar-terrestre, podemos imaginar que el Sol es la calefacción y la tierra es nuestro cuerpo. Sin embargo, en este escenario, no existe aire entre el Sol y la Tierra suficiente para calentarse por conducción y “traer” calor desde el Sol. Nuestro planeta obtiene su energía calorífica a través del calor radiado por el Sol. A ésta la conocemos como *energía entrante*.



Fig. 2. El Sol provee energía hacia la Tierra a través de la radiación.

Así como existen las leyes de la termodinámica, también existen las leyes de la radiación. En resumidas cuentas, éstas establecen que 1) todos los cuerpos radian energía (sí, hasta tú emites ondas electromagnéticas), 2) los objetos con mayor temperatura radian más energía, 3) la longitud de onda de los objetos con mayor temperatura es más corta que la longitud de onda de los objetos más fríos y 4) si algo es un buen absorbedor de energía también será buen emisor de ella. (Inzunza, 2007)

Por las leyes anteriores podemos concluir que la tierra también radia energía hacia el exterior. Esta energía que sale ya no se recupera por lo que es perdida al espacio externo. Llamaremos *energía saliente* si se trata de energía que es radiada hacia el exterior.

1.6 Balance de energías

La energía calorífica entrante desde el Sol al sistema terrestre es de 342 W/m^2 , de los cuales se reflejan 107 por la superficie y atmósfera hacia el espacio. De estos 342, 168 los absorbe la superficie y los otros 67, la atmósfera. Así se obtiene que 235 W/m^2 se quedan en el sistema de la Tierra. En cuanto a la energía saliente, el planeta emite 390 W/m^2 . Sin embargo, no sale toda la energía emitida – 350 los absorbe la atmósfera, los gases en ella y las nubes mientras que 40 salen directamente al espacio. Además, la atmósfera recibe otros 102 por procesos como la evaporación en la superficie. Esto le da suficiente energía como para “regresar” 324 unidades a la superficie (los cuales son absorbido) y emitir 235 hacia el espacio exterior. (J. T. Kiehl, 1997)

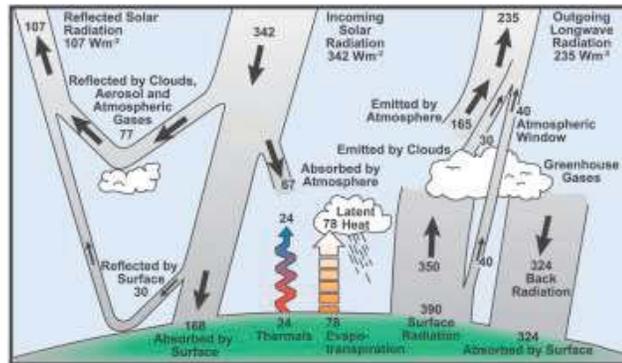


Fig. 3. Balance de energías según J. T. Kiehl

Tomando en cuenta estos números, obtenemos que la superficie “retiene” 492 W/m^2 y pierde 390 W/m^2 . Estos números nos ayudarán a plantear el modelo en la siguiente sección.

2 Modelo con ecuaciones diferenciales

Además de las energías entrantes y salientes se tiene otro factor que contribuye al cambio de temperatura en un objeto. Este factor constante es la capacidad calorífica del cuerpo en cuestión y es la cantidad de energía calorífica requerida para elevar un metro cuadrado de la superficie un grado Kelvin. En este caso el cuerpo es el planeta Tierra y se tiene que la capacidad calorífica de ella es de $16.7 \frac{\text{W a}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}}$. (Schwartz, 2007)

Habiendo discutido los conceptos de física suficientes, podemos proseguir con el planteamiento del modelo matemático. Es necesario recordar que esto es un modelo extremadamente simple que no puede predecir con suficiente precisión lo que sucederá en el futuro.

La temperatura (T) en función del tiempo transcurrido (t) depende de 3 valores que ya hemos mencionado:

- La energía calorífica que absorbe la Tierra. ($E_a = 492 \text{ W/m}^2$)
- La energía calorífica que pierde la Tierra ($E_p = 390 \text{ W/m}^2$)
- La capacidad calorífica de la Tierra. ($C_c = 16.7 \text{ W a/m}^2$)

El cambio de temperatura de un objeto está dado por la siguiente fórmula:

$$\text{cambio de temperatura} = \text{temperatura nueva} - \text{temperatura vieja}$$

Pero si la temperatura nueva está dada por:

$$\text{temperatura nueva} = \frac{(\text{cambio de energía})\text{tiempo}}{\text{capacidad calorífica}} + \text{temperatura vieja}$$

entonces el cambio en la temperatura de la tierra está dado por:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{(E_a - E_p)t}{c_c} \quad (1)$$

Puesto que el cambio en la energía es la diferencia entre la energía absorbida y la energía perdida.

Tomando en cuenta los valores calculados en la sección anterior se obtiene la siguiente expresión para el cambio de temperatura:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{(492-390)\frac{W a}{m^2} t a}{16.7\frac{W a}{m^2 \cdot K}} \quad (2)$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{(102)t}{16.7} \text{ } ^\circ K \quad (3)$$

Donde W = Watts, a = año, m^2 = metro cuadrado, $^\circ K$ = grados Kelvin. Entonces se obtiene el cambio de temperatura a lo largo de t años en grados Kelvin.

Se tiene una ecuación diferencial separable, entonces se resuelve para T como sigue:

$$dT = \left(\frac{102}{16.7}\right) K t dt$$

$$\int dT = \left(\frac{102}{16.7}\right) K \int t dt$$

Entonces la función de temperatura T respecto del tiempo t es:

$$T(t) = \left(\frac{102}{16.7}\right) \left(\frac{t^2}{2}\right) + C \text{ } ^\circ K$$

2.1 Evaluación y características del modelo

Es muy evidente que este no es un modelo perfecto. Está muy lejano de la perfección pues, claramente, las soluciones son parábolas que se abren hacia arriba, entonces según nuestro modelo la temperatura global jamás terminará de crecer. Además, el tiempo con el que crece es demasiado rápido pues si utilizamos $t = 1$ año se tiene que $T(1) = 3.05 K$. Es decir, según nuestro modelo la temperatura dentro de un año será de 3.05 grados Kelvin más una constante – si tomamos esta constante como la temperatura promedio en la actualidad, digamos de $17^\circ C = 290.15 \text{ } ^\circ K$, dentro de un año la temperatura global promedio será de $20.5^\circ C = 293.20 \text{ } ^\circ K$. Tomando esto en cuenta procedemos por mencionar algunas características analíticas y geométricas del modelo.

Clasificación de la ED

Claramente, la ecuación diferencial en cuestión $\frac{dT}{dt} = \frac{102}{16.7} t$ es una ecuación diferencial ordinaria, lineal, de primer orden, de primer grado.

Es claro que es además una que se puede resolver por métodos analíticos, es una ecuación separable y la solución ya fue presentada anteriormente.

Curvas solución

La solución general ya fue hallada, está dada por $T(t) = \frac{102}{16.7 \times 2} t^2 + C$. Utilizando el eje y para graficar los valores de T contra el eje x para las t obtenemos que las curvas solución son parábolas verticales que se abren hacia arriba. Éstas alcanzan su punto mínimo en $t = 0$ entonces tienen como eje de simetría el eje y .

Usando dfield para Java graficamos el campo de direcciones y algunas curvas solución. Notamos que las soluciones son parábolas tal y como indica la ecuación general de $T(t)$ (solamente se graficó para $t > -0.5$ para demostrar lo rápido que crece la temperatura en este modelo).

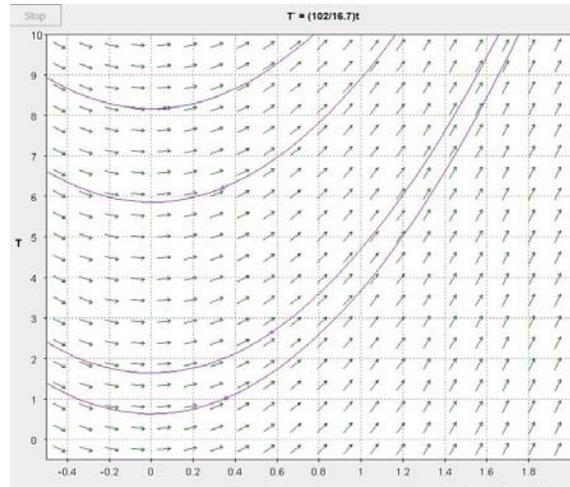


Fig. 3. Campo de direcciones y algunas curvas solución. Graficado con dfield.

Punto equilibrio

No existe punto de equilibrio para esta ecuación diferencial. Esto se debe a que el término T de temperatura no aparece dentro de la ecuación (solamente T'). Es decir, no existe un valor de T para el cual T' se anule y por tanto no “se mueva” el punto.

Esta es otra falla en el modelo pues indicaría que la temperatura global solamente sube con el paso del tiempo. Nunca se equilibrará.

2.2 Un nuevo modelo

Tras evaluar el primer modelo, es aparente que no se acerca mucho a la realidad. Se propone entonces un nuevo modelo con el propósito de obtener algo más parecido a lo que sucede en el universo real.

La Ley de Stefan-Boltzmann nos permite afirmar que la energía calorífica saliente de cualquier cuerpo es de:

$$E_s = \epsilon \sigma T^4$$

Donde ϵ es la emisividad del cuerpo, σ representa la constante universal de Stefan-Boltzmann y T es la temperatura del objeto.

Usando esto, se propone que el cambio de temperatura de la tierra es dada por:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{(492 - 0.61\sigma T^4)t}{C_c}$$

Ya que la emisividad de la Tierra es de 0.61. Este nuevo modelo tiene un punto de equilibrio en ± 345 . Por esto, y el hecho que no crece tan rápido se tiene que es más apegado a la realidad.

3 Conclusiones

Para concluir el trabajo quisiéramos hacer énfasis en comparar los dos modelos obtenidos. El primer modelo se obtuvo considerando constantes la energía entrante y saliente. Esto produce un problema ya que el flujo de energía en la Tierra no es constante. Se obtuvieron fallas y un modelo muy poco realista.

Al considerar la energía saliente como una función de la misma temperatura, apoyándose en la Ley de Stefan-Boltzmann se obtuvo un modelo más realista con dos puntos de equilibrio. Lo que significa que la temperatura de la Tierra no crecerá infinitamente.

Es importante remarcar que el calentamiento global se produce más que nada por una diferencia entre la energía que sale y la energía que entra al sistema terrestre. Esta diferencia crecerá si la energía que se ve reflejada en dirección de la superficie por parte de la atmósfera crece en cantidad.

Referencias

1. Cengel. (2012). *Termodinámica, 7a edición*. México DF: McGraw Hill.
2. Eckehard Specht, T. R. (2016). Simplified mathematical model for calculating global warming through anthropogenic CO₂. *International Journal of Thermal Sciences*, 1-8.
3. Inzunza, J. (2007). CAPITULO 3. RADIACIÓN SOLAR Y TERRESTRE. . In J. Inzunza, *Meteorología Descriptiva* (pp. 57-83). Concepción: UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN.
4. J. T. Kiehl, K. E. (1997). Earth's Annual Global Mean Energy Budget. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 197-208.
5. Materraña. (2010, Marzo). Las matemáticas del calentamiento global. *Boletín de matemáticas del I.E.S Matarraña*.
6. Schwartz, S. E. (2007). Heat capacity, time constant, and sensitivity of Earth's climate system. *Journal of Geophysical Research*, 112.
7. Ting, V. (2016, Diciembre 12). What is the Second Law of Thermodynamics? United Kingdom.

ESTACIÓN DE MONITOREO PARA EL CULTIVO DE LENTEJA DE AGUA

Juan Negron-Granados¹, Rafael Viana¹, Mildred González², Geenkel Coss², Rajiv González², and Sergio Gongora²

¹ Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Matemáticas
A08001373@alumnos.uady.mx

² Simple Biosphere SA de CV
<http://simple-biosphere.mulkintech.com>

Abstract Duckweed is a plant that can adapt to different environmental conditions, however, in order to get its high protein value, it is required that the plant is developed under specific conditions. In this work is described the construction methodology of a system that allows to evaluate the conditions where the duckweed grows, the choice of sensors and a platform that allows you to visualize the parameters of interest. What allows to monitor if the proper properties are met for the optimal cultivation of such aquatic plant.

Resumen La lenteja de agua es una planta que se puede adaptar a diferentes condiciones ambientales, sin embargo, para disponer de su alto valor proteico se requiere que la planta se desarrolle en condiciones específicas. En este trabajo se describe la metodología de la construcción de un sistema que permite evaluar las condiciones en la que crece la lenteja de agua, la selección de sensores y una plataforma que permita visualizar los parámetros de interés. Lo que permite monitorear si se cumplen las propiedades adecuadas para el cultivo óptimo de dicha planta acuática.

Keywords: lenteja de agua, instrumentación, sensores, sistema remoto

1. Introducción

Las plantas acuáticas son un recurso altamente productivo de biomasa con alto valor proteínico. La biomasa de la *Lemna Minor* (comúnmente llamada lenteja de agua), tiene un contenido de proteína del 38% del peso seco, el cual se puede utilizar como una alternativa rica en proteínas. [1]. Su cultivo permitiría disponer de un suministro sostenible de ella, sin embargo, una inadecuada fertilización afectaría su crecimiento y calidad nutricional [5]; incluso deficiencias o bioacumulación [2]. Por lo tanto, un sistema de monitoreo permitiría la evaluación del entorno de la lenteja agua y servirá como herramienta para el óptimo crecimiento de dichas plantas acuáticas.

En el presente artículo, se describen los sensores seleccionados para la construcción de una estación de monitoreo de cultivo acuático para las lentejas de agua. De igual manera se describe el proceso de transmisión de la información del dispositivo a un servidor y las herramientas web utilizadas en el frontend y backend del servidor. En la sección 2 se describen los sensores utilizados; la transmisión, la recepción y el almacenamiento de los datos; además se menciona como se programó la plataforma web y el framework utilizado para la construcción de las gráficas. Posteriormente en la sección 3 se muestra la tarjeta electrónica desarrollada y la visualización en la página Web. Finalmente en la sección 4 se hace un resumen de los resultados y las conclusiones finales.

2. Metodología

2.1. Desarrollo del Hardware

El objetivo es la construcción de un sistema que permita monitorear la temperatura y el pH del agua, el nivel de iluminación y la temperatura ambiente. Dicho sistema debe operar en las condiciones en la que las lentejas de agua se desarrollan, la temperatura que tolera esta planta acuática varía entre 5° y 30°C, con un crecimiento óptimo entre los 15° y 18°C. La lenteja de agua puede tolerar un rango de pH amplio, siendo el óptimo entre 4.5 y 7.5 pH [4]. La lenteja de agua se adapta bien a cualquier condición de iluminación, sin embargo se recomienda 2150 lux a 4300 lux en la superficie del agua [3]. A continuación se describen los sensores utilizados:

- El módulo E-201 para el de sensor de pH consiste en una sonda pH y en una tarjeta electrónica que elimina el ruido de la señal analógica. Este módulo tiene una salida proporcional al valor del pH de la sonda y una salida de temperatura (Cuadrante 4, Figura 1).
- El sensor de temperatura utilizado para este proyecto es el DS18B20, un dispositivo que se comunica de forma digital (Cuadrante 2, Figura 1).
- EL módulo BH1750 es un sensor de luz digital y nos entrega valores de medición en Lux (lumen/m^2) que es una unidad de medida estándar para el nivel de iluminación (iluminancia). Tiene alta precisión y un rango entre 1 – 65535 lx, el cual es configurable (Cuadrante 5, Figura 1).



Figura 1: Sensores utilizados en la elaboración de este proyecto.

Cada dispositivo de cada estación de monitoreo tiene un XBee (Cuadrante 1, Figura 1), de los cuales solo uno tiene un XBee de tipo coordinador y el resto son de tipo Router. Cuando cada dispositivo toma las medidas de los sensores, envía los datos al dispositivo con el XBee coordinador.

La configuración que se usó en este trabajo es una topología de tipo malla (Mesh) para ello se requiere que en la red exista un XBee que deberá ser el maestro o coordinador, y uno o varios XBee fungirán como esclavos o Routers.

Cuando el dispositivo con el XBee coordinador termina de tomar las medidas de los sensores o el recibe un nuevo dato de otros dispositivos, utiliza el módulo GSM SIM800L (Cuadrante 3, Figura 1) para la transmisión de la información al servidor.

El módulo GSM/GPRS cuatribanda (QuadBand) SIM800L permite operaciones por Internet sencillas como HTTP/UDP/FTP/TCP usando la red de telefonía. Al ser cuatribanda funciona en cualquier país gracias a la red GSM global.

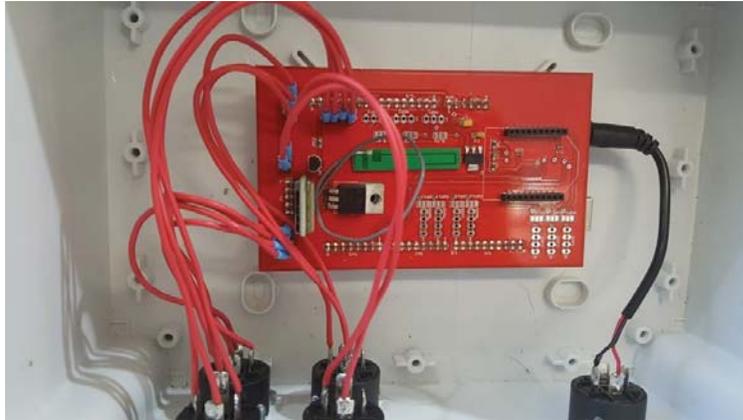


Figura 2: Tarjeta electrónica con componentes

2.2. Desarrollo del servidor y aplicación Web

Para la elaboración de la aplicación web, se han creado dos servicios; el primer servicio se utiliza para la recepción y el almacenamiento de los datos utilizando el protocolo de control de transmisión (TCP por sus siglas en inglés); el segundo servicio es un servidor express que consulta los datos almacenados para posteriormente ser visualizados en una página web. Ambos servicios se desarrollaron en Nodejs debido a su rendimiento bastante bueno al momento de la ejecución logra que el sistema esté preparado para manejar el crecimiento de peticiones sin perder calidad en los servicios ofrecidos.

Las principales características que ofrece el protocolo TCP para la recepción de datos es el monitoreo del flujo de los datos, evitando la saturación de la red, además, soporta múltiples conexiones simultáneas, permitiendo atender a varios dispositivos en forma paralela. Cuando un dispositivo se conecta a este servicio, se crea un socket que permite la transmisión de información del dispositivo al servidor. En el momento en el que se reciben los datos, el servicio guarda los valores en una base de gestión de información; posteriormente se cierra la conexión con el dispositivo. El sistema de gestión de bases de datos utilizado es postgresQL debido a sus características de estabilidad y rendimiento, seguridad, escalabilidad y gran capacidad de almacenamiento.

Para visualizar las gráficas de la información en la página web se utiliza el módulo Express.js el cual es un framework de desarrollo de aplicaciones web minimalista y flexible para Node.js. Este framework ofrece características router de URL (get, post, put, ...) para peticiones web, por lo que

permite visualizar la página con peticiones get. Al acceder a la url de la página con el navegador, el servidor hace una consulta de la datos almacenados para ser presentados a través de gráficas en la página web. Para graficar se utiliza amcharts.js, una herramienta web para crear gráficos y mapas interactivos, además resalta por ser 100 % responsivo al ajustar las gráficas al espacio disponible en la pantalla sin perder la calidad del contenido.

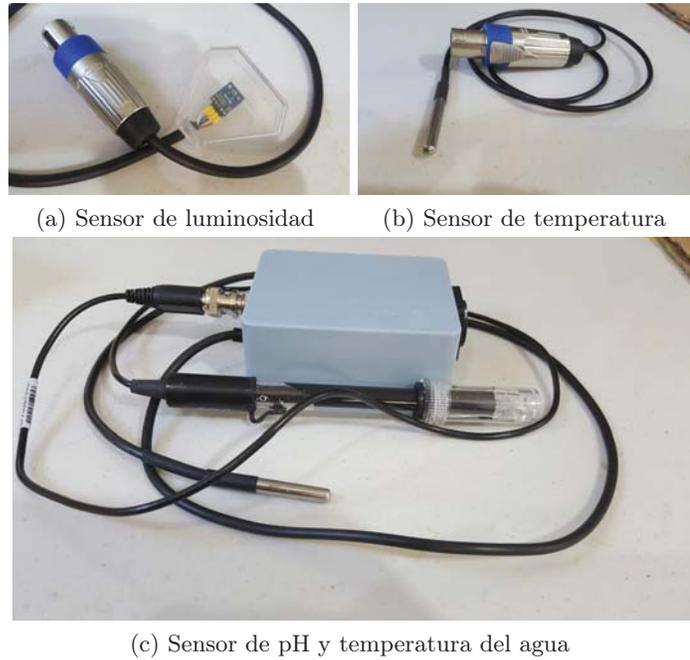


Figura 3: Sensores encapsulados.

3. Resultados

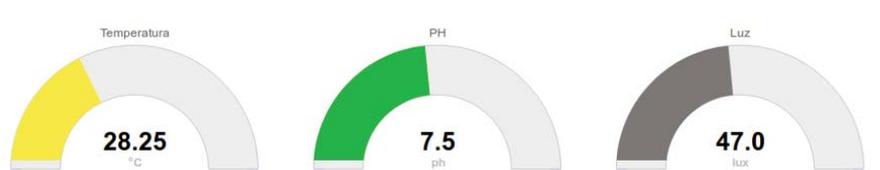


Figura 4: Gráficas de aguja en la página web.

Utilizando el CadSoft Eagle se diseñó y construyó una tarjeta electrónica que tiene lo necesario para controlar todos los sensores descritos en las secciones anteriores (Figura 2). La tarjeta electrónica se sujeta a una caja resistente a la intemperie y se colocan los conectores correspondientes a cada sensor. Dicha tarjeta es compatible con Arduino lo que facilita la programación y el control de los sensores.

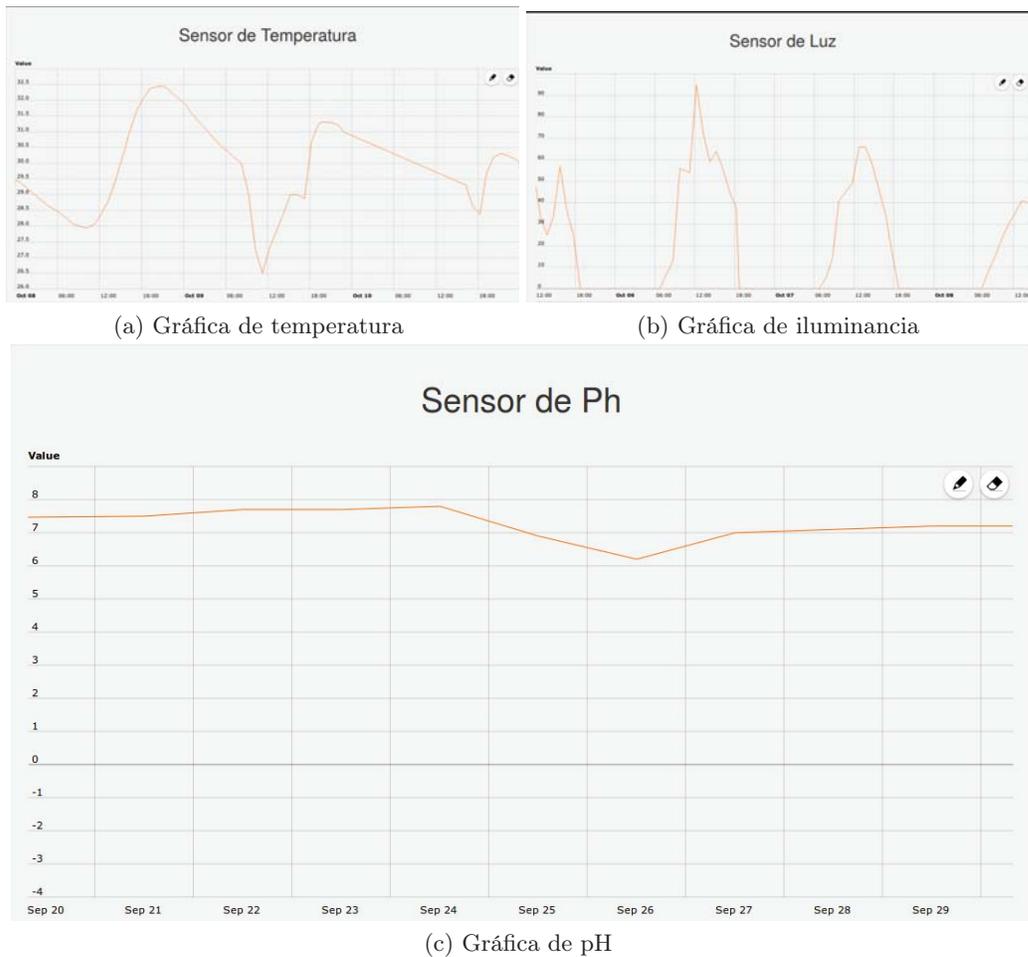


Figura 5: Gráficas de los valores sensados.

Los sensores fueron encapsulados en cajas plásticas resistentes a condiciones ambientales y para conectar los sensores con el controlador se usan conectores Speakon que posee un sistema de cierre de seguridad que impide su desconexión accidental y la propia forma del conector lo dota de una protección que evita los cortocircuitos, descargas eléctricas y permite la exposición de éstos a las inclemencias del tiempo sin que se dañen.

El módulo del sensor de Ph y temperatura se encapsuló en caja, de igual manera resistente a la intemperie. Por un lado, salen los sensores, por el otro es un conector Speakon para conectarse al controlador (Figura 3c). Para el sensor de temperatura ambiental se usa el sensor de temperatura DS18B20, los 3 cables se sueldan directamente al Speakon (Figura 3b). El sensor de luz BH1750 se encapsuló en una caja plástica transparente y fue sellada con silicón para evitar la entrada de agua (Figura 3a). El resultado final es un hardware resistente a los factores ambientales.

La información de los sensores se puede consultar a través de la aplicación Web desarrollada, presentando los resultados de manera simple. La página presenta tres gráficas de aguja que corresponden a la última medición de los sensores (Figura 4). El usuario puede consultar el histórico de alguna de las medidas presionando sobre algún gráfico de agujas (Figura 5).

4. Conclusiones

El resultado final es un hardware resistente a los factores ambientales. El software al ser desarrollado en lenguaje C/C++ nos otorga fiabilidad y rapidez en el muestreo de los datos. Los sensores utilizados se adecuan a sus especificaciones técnicas, lo que nos garantiza datos con errores mínimos. El sistema logra monitorear que las lentejas de agua siempre se encuentren en condiciones adecuadas para su óptimo desarrollo y obtener su alto valor proteico.

La aplicación permite que cualquier usuario con acceso a internet pueda consultar los datos e interpretarlos de manera sencilla, permitiendo que cualquier interesada en controlar cultivos de lentejas de agua pueda hacer uso del sistema.

5. Agradecimientos

Se agradece al Dr. Carlos Brito Loeza, de la Facultad de Matemáticas de la Universidad Autónoma de Yucatán, por su asesoría así como sus valiosos comentarios a la realización del presente trabajo. También se agradece a Simple Biosphere por su apoyo en el desarrollo de este sistema.

Referencias

1. JDO Chará. El potencial de las excretas porcinas para uso múltiple y los sistemas de descontaminación. *Memorias del seminario internacional contaminación y reciclaje en la producción porcina: aspectos legales técnicos y económicos*, pages 49–50, 1998.
2. RA Leng, JH Stambolie, and R Bell. Duckweed-a potential high-protein feed resource for domestic animals and fish. *Livestock Research for Rural Development*, 7(1):36, 1995.
3. Martha Isabel Posada-Posada, María del Pilar Arroyave-Maya, et al. Efectos del mercurio sobre algunas plantas acuáticas tropicales. 2014.
4. E Rook. Flora, fauna, earth and sky. *The natural history of the northwoods*. Available from: www.rook.org/earl/bwca/nature/aquatics/lemna.html, 2002.
5. Robert A Steinberg. Mineral requirements of lemna minor. *Plant Physiology*, 21(1):42, 1946.

Quantifying Empathy using Time Series Correlations: Analysis of the reactions of mexicans in September earthquakes

J. Alberto Rosales Pérez¹

¹ Data&Trending Analysis, Mérida, Yucatán México
analisisyucatan.dt@gmail.com

Abstract. In this study we propose a new technique to quantify the level of empathy that people feel in a certain region with respect to another when there is an event of general importance. The method is as follows: from Google Trends we get the Time Series of the popularity of some keyword related to the situation we want to study, and then we elaborate a matrix correlation with all of the time series of the cities involved. If the correlation is next to 1 then there is empathy between those two cities, and if it is -1 it could be interpreted as antipathy and 0 indifference. We applied this method to the earthquakes that occurred in Mexico City on September 2017, using “*meme*” as a keyword. It was found that most of the states of the Mexican Republic had greater empathy with the CDMX in the second earthquake then the first one. This technique has a lot of potential to analyze how much empathy people feel in one place with respect to another and broaden the horizons in terms of social behavior analysis using time series analysis.

Keywords: Sentiment Analysis, Time Series, Matrix Correlation.

1 Introduction

1.1 A Subsection Sample

Sentiment analysis is usually defined as the technique that quantifies the mood of the person based on word classification within a text [1],[2]. This analysis is usually applied in open questions of opinion polls or to analyze the mood of the twitterers with respect to some topic or event.

However, an important feeling that must be measured is empathy, because it is what drives people to help others, also it generates social movements for a better benefit. It has been several approaches, for example the analysis of expressive gesture of people in social interactions[3] and some others. The method we propose is based on the searches that people do in Google for a certain word.

In Google Trends It can be downloaded how the search for a certain keyword has behaved, more precise, Google Trends gives the time series of the popularity of the keyword. For example, if we look for the word "femicide", we will see peaks after a femicide sounded in the news. Increases in searches indicate important social events. This time series can be obtained by country or by city.

In Mexico, the search for memes on the internet indicates that some event happened which may be the subject of laughter and jokes. When the first earthquake happened in Mexico City in September of 2017, there was an increase in the search for memes when the people corroborated that no deaths had occurred in Mexico City. But, when the second earthquake happened, and there were buildings collapsed with people inside, the search for memes had a slight increase but did not reach the levels reached in the first earthquake.

Figure 1 shows this behavior in cities such as Mexico and Puebla where this telluric movement was felt. However there were regions where in the second telluric movement, in spite of the deaths, the people of those cities continued looking for “memes”, like Michoacán where the lowest point was 50% popularity, while in Mexico City it dropped to 37%, which expresses a lack of empathy towards the tragedy that was lived at that moment in the affected cities.

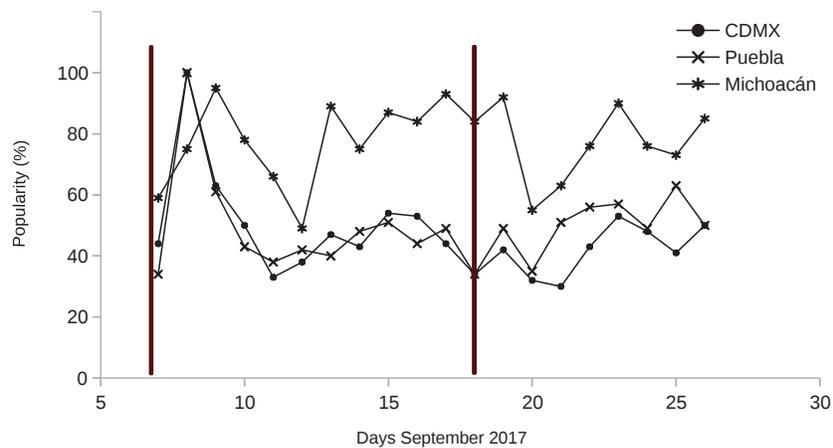


Fig. 1. Time series of the search popularity of the keyword "Meme" for the cities of Mexico, Puebla and Michoacán. The vertical lines show the days where the earthquakes occurred.

When analyzing the data, we realize that we can quantify how similar are the search behaviors of the word "meme" of two regions by calculating the correlation of the two time series[4]. In this context, the numbers have the following interpretation: when we have a correlation of 1, there is empathy for people from both regions, while a correlation of -1 is no empathy and 0 is indifference. When we calculate the correlation between Mexico and Puebla is 0.83, while when we calculate for Mexico and Michoacán, the result is 0.33 and It is interpreted as lack of empathy to the situation lived in Mexico City.

In this way we propose the analysis of the correlations of the popularity time series of a keyword referring to an event as a quantifier of the empathy from one region to another. Each situation is different and the keyword used for the analysis must be defined with care, however, this technique is a good tool that could complement the Sentiment Analysis in a specific situation.

2 Methodology

For the analysis of empathy the time series of the popularity of the search for the keyword "meme" were downloaded from September 7 to 26, 2017 for all the states of the Mexican Republic. Subsequently, a correlation matrix was made between all the time series and cities with greater empathy were grouped together.

Subsequently, a geo-referencing of the empathy of the states of Mexico with respect to the behavior of Mexico City for each earthquake was made, that is, for the earthquake of September 8, the time series was taken from September 7 to 17 and for the second from September 18 to 26. The calculated correlation was made with respect to Mexico City.

3 Results and Discussion

Figure 2 shows the correlation matrix for the search popularity time series of the keyword "meme". The grouping shows that the states neighboring Mexico City have a lot of empathy for each other because they felt the same intensity, easily generating empathy, however, more distant states begin to have less empathy for the situation. The cases that call attention is Michoacán, as we mentioned earlier, Baja California Sur, Campeche but above all Colima, whose correlations were negative.

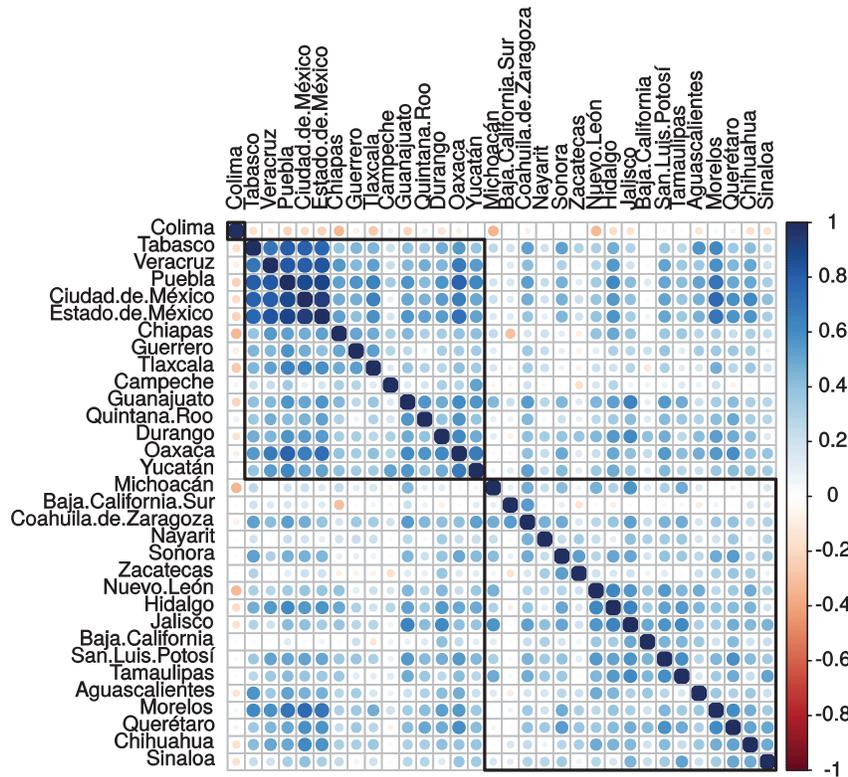


Fig. 2. Correlation matrix for the time series of popularity in the search for the "meme" keyword for the days of September 7 to 26.

Figure 3 shows the empathy map with respect to the CDMX, darker the color of the state, more empathy has with respect of CDMX. For the earthquake of September 8 (8S) there was not as much empathy as for the earthquake of September 19 (19S), where there were human losses. Most states had a more homogenous behavior in the second tremor. Only Colima registered a slightly negative correlation, for the mapping it was taken as a zero correlation.

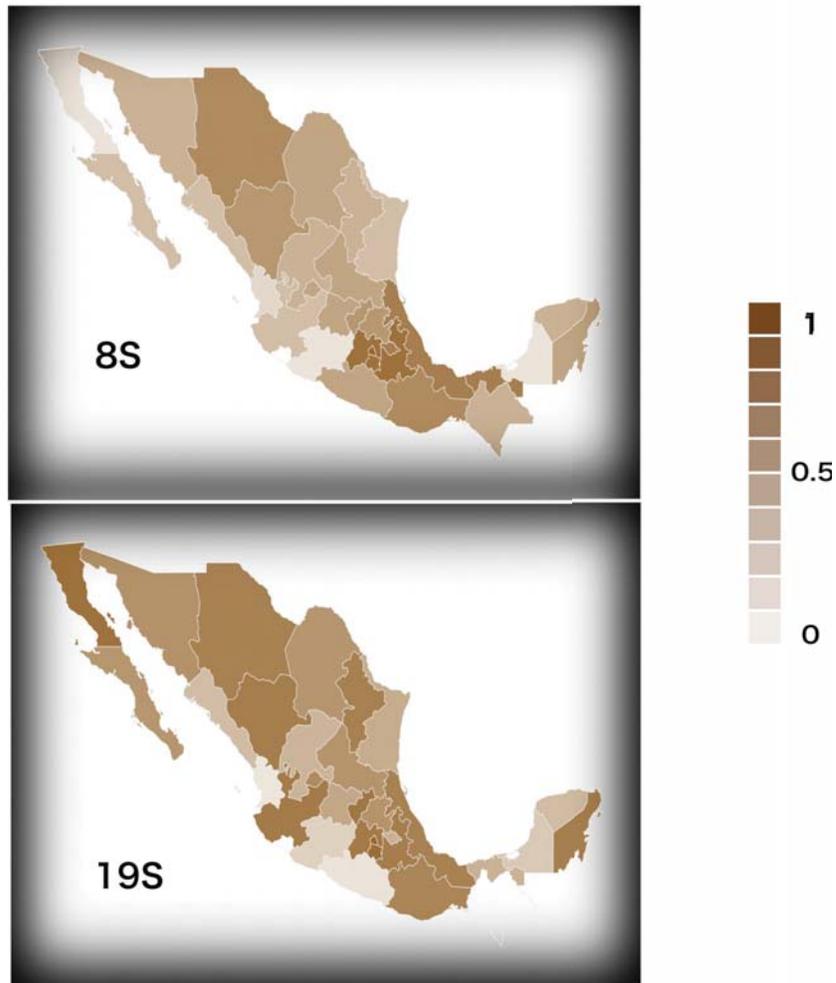


Fig. 3. Maps of the correlations calculated with respect to Mexico City for both earthquakes.

In the map it is observed that the grouping found in the correlation matrix is due to the geographical proximity of the states, being close to Mexico City the telluric movement felt similarly.

For 8S, the behavior of the cities bordering on CDMX such as the State of Mexico, Puebla, Tlaxcala and Veracruz are the ones with the most empathy, followed by the

states of the North and the South. For 19S all states felt a lot of empathy as long as they did not search memes as the CDMX did.

4 Conclusions

In this study a technique was presented to quantify the empathy felt by people from one region to the others from an event. In this case, the behavior of people in the earthquakes that hit Mexico in September of 2017 was analyzed.

Using the correlation between time series obtained from the search of memes in Google Trends we were able to realize how each state of the Mexican Republic lived these tragic events.

This technique still has much to explore in order to be more accurate, for example include another variables (another searching words), although compared to the algorithms used for the analysis of feelings based on a text classifier, it is a very good approximation.

References

1. Yiming Zhao, Y., Kai Niu, K., Zhiqiang He, Z., Jiaru Lin, J., Wang, X.: Text Sentiment Analysis Algorithm Optimization and Platform Development in Social Network. Computational Intelligence and Design (ISCID) Sixth International Symposium on, pp. 410-413, IEEE Xplore (2013).
2. Mouthami, K., Devi, N., Bhaskaran, V. M.: Sentiment analysis and classification based on textual reviews, Information Communication and Embedded systems (ICICES) 2013 International Conference, pp. 271-276, 21-22 IEEE Xplore (2013).
3. Varni, G., Camurri, A., Coletta, P., Volpe, G.: Toward a Real-Time Automated Measure of Empathy and Dominanc, Proceedings in International Conference on Computational Science and Eng., pp. 843-848, IEEE Xplore (2009).
4. Reinsel, G.: Elements Of Multivariate Time Series Analysis, Springer-Verlag, New York (1999).

PREPROCESSING INFORMATION APPLIED TO A COMMERCIAL DATA STORE

Sidney René Toledo Martínez^{1,2} Eddy Sánchez-DelaCruz¹ Rajesh Roshan Biswal¹
Gandhi Samuel Hernández Chan³

1 INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA, Km. 1.8 Carretera a Loma del
Cojolite, Misantla, Ver. C.P. 01 (235) 323 1545.

Email: esanchezd@itsm.edu.mx,

2 INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ALVARADO, campus Medellín. Escolleras
Norte S/N, Col. La Trocha Alvarado, Veracruz, Ver. C.P. 91700. Tel: Tel: 01 (229) 955 4173.
e-mail: 162t0053@itsm.edu.mx

3 LABORATORIO NACIONAL DE GEOINTELIGENCIA (GeoINT), Carretera Sierra Papa-
cal – Chuburná Pto. Km. 5, C.P. 97302, Mérida, Yucatán, México.

Email: gherandez@centrogeo.edu.mx

Abstract. This article shows the stages of analysis, preprocessing and application of the algorithm of attribute selection, applied to a database that contains historical information of a company dedicated to offering service of installation, monitoring and residential and business security. The objective of this paper is to use the techniques of business data model in conjunction with techniques of processing and selection of attributes, allowing to define a data warehouse that can be used to determine the behavior of customers with respect to their payments and utilizing this, perform a classification of them taking as reference the most relevant attributes contained in the stored information. The proposed methodology covers in the first instance, the stage of analysis of the original database, where the original characteristics of the database are observed thus determining selection criteria to carry out the information extraction process. After the exploratory analysis, pre-processing techniques (to complete or eliminate incomplete or missing values, correct inconsistencies, creation of new attributes) used to refine extracted information and prepare it for the application of attribute selection algorithms (random forest, square chi, CFS, consistency and information gain). Finally, the results obtained with the selection algorithms are presented, defining a clean data model, refined and prepared to be used to classify the client and use it in future business applications.

Keywords: attribute selection, data mining, data warehouse, data preprocessing, statistical analysis.

1 Introduction

Automatic learning (AL) is the branch of artificial intelligence that aims to identify and recognize behavior patterns from information stored individually and specifically

using the induction mechanism, thereby generalizing knowledge and offering a mechanism of formal inference used to generate knowledge by means of learning through computer [1]. In general terms, the AL allows extracting non-observed knowledge of an entity (object of study), using previously observed information of the same object, thus allowing us to predict future behavior from historically stored information.

2 Related works

Torruco [2] in his work, applied the algorithms of attribute selection for the 16 most relevant variables to identify four subtypes in which the Guillan-Barré syndrome is classified. We sought to find a subset of reduced characteristics with the highest purity and used a set of 154 characteristics (attributes), which contain data from clinical, serological and nerve induction tests. A grouping process was performed using the PAM algorithm. To select the most relevant characteristics of the data inputs for the PAM, experiments were carried out with five filter methods: CFS, chi square, information gain, symmetric uncertainty and consistency. The result was that the reduced number of characteristics found to identify the four subtypes of GBS could lead doctors to design a faster, simpler and cheaper diagnosis of DNA synthesis. Martín Manso, proposes techniques for selection and classification, developing four variants of attribute selection methods. For the experiments, it uses the CFS-Subset, ReliefF and Chi-Square attribute selection algorithms included in WEKA applied to historical stock market data [3].

René Cruz and Alonso Lavernia [4], presented results of the study of the Naive Bayes, C4.5, Multilayer Perceptron and K-Nearest Neighbour algorithms applied to 38 data sets with different characteristics, which resulted in some rules that describe behavior patterns in correspondence with the treated population. The results of this work provide an alternative to decide which classifiers are best to be used for a data set with specific characteristics.

Aboobyda & Tarig, [5] proposed a new model to classify the loan risk in the banking sector using data extraction. The model was constructed using data from the banking sector to predict the status of loans. Three algorithms used to build the proposed model are: j48, bayesNet and naiveBayes. By using the Weka application, the model has been implemented and tested. The results were discussed and a complete comparison between algorithms was made.

3 Materials and Methods

Materials

One of the basic materials for the beginning of this work, was the original database of the company called issai, containing historically stored information coming from the payments of the clients to whom it offers monitoring service. These information are

distributed among a total of 126 tables, containing more than 1000 attributes in their structure and with an amount greater than 20,000 thousand records, the format of the tables is *.sql. In addition, the Mysql WorkBench v6.3 Software is used to access the database, as well as Microsoft Excel 2013 to perform the stages of dataset integration and preprocessing. In relation to the hardware used to carry out the experiments, the following was implemented: HP Pavilion computer with Intel Core i5 processor at 1.70GHz, 8Gb RAM memory, 700 Gb Hard disk and NVidia video memory from GeForce, Windows 8.1 operating system of 64 bits.

Method

The methodology proposed for the present work consists of 5 steps, which are described below:

- Analysis of the original database: The database provided consists of 126 tables, so the first step is to identify the tables that contain information worthy to be used by the model and remove the tables from the database that contain not so relevant information. The result of this first analysis is a reduced set of tables. Mysql WorkBench and Microsoft Excel was used for this procedure.
- Data preprocessing: Consists in the generation of a purified, clean and standardized (original) data warehouse. This operation was done using Mysql WorkBench and Microsoft Excel.
- Implement Attribute Selection algorithms: Motivated by the performance reports described in [2], the filter algorithms implemented were: CFS, Chi-Square, Information gain, random forest and consistency using the Fselector package in the statistical software R.
- Integration of the ranked Dataset: The attributes that present the best relevance based on the ranking of attributes generated by the algorithms was selected.
- Analysis of results: The results obtained were compared with each one of the data warehouse proposals.

The methodology used to carry out this research work is shown graphically (Fig. 1).

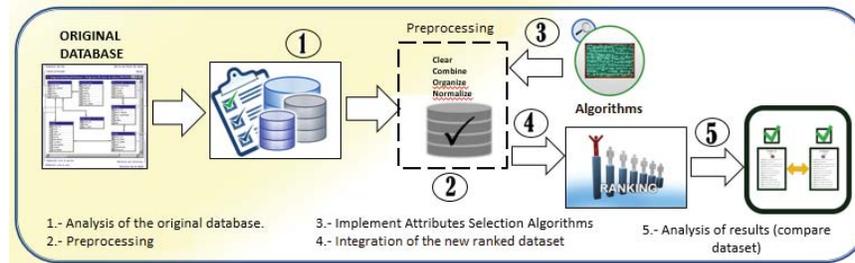


Fig. 1. Methodology used in the research work.

4 Advances in the development of experiments

4.1 Analysis of the original database

The source of the information that represents the data warehouse, was provided by the company, which is formed by a total of 126 tables in a database called Issai, which has in total 1181 attributes and 130446 records, containing historical information of its clients from the year 2010 to the year 2017. The information of the database was explored using MySQL Workbench.

As a result of the extraction and selection of information from the original database, it was decided to integrate a single Dataset, which contains the attributes of the tables abonosmonitoreo, cargosmonitoreo, cuentas and clients respectively. This phase culminates by integrating two data warehouse proposals, the first proposal is generated by establishing the Pay-Charge relationship (abonosmonitoreo-cargosmonitoreo) and the second, establishing the Charge-Credit relationship (cargosmonitoreo-abonosmonitoreo).

4.2 Preprocessing

In this stage of preprocessing, the following actions were carried out: completing the incomplete or missing values such as null values or without data, detecting outliers i.e., information with out-of-range values, correcting inconsistencies in stored data i.e., elimination of attributes not accepted by the algorithms of selection of attributes, transform categorical data to numeric and to fragment dates

With this transformation of the proposed data warehouses for the implementation of the attributes selection algorithms, two additional proposals of datasets counting to 28, 11, 72 and 92 attributes were generated. Three more attributes were added in both dataset called diasPlazo, diferenciasDias and tipoCliente, which are necessary to categorize each of the stored records, thus adding a classification criterion to the information.

With this operation, Dataset 1 is processed with a total of 28 attributes, of which 8

were text, 17 were numerical and the remaining 3 were belonged to the date type and 19441 records correspond to the first Dataset.

However, the Dataset 2 is formed of 92 attributes, of which 26 are text type, 53 numeric type and 10 date type with 22245 records. Files with a .csv extension separated with commas were generated for its use in R.

4.3 Implementation of *attribute selection algorithm*

The experiments were performed using the above-mentioned information by applying 5 algorithms of attribute selection to each of the Dataset, thus obtaining the following results as shown in Fig. 2.

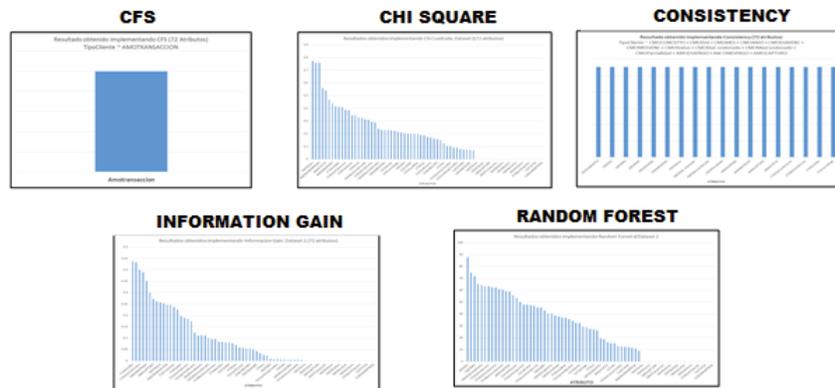


Fig. 2. Results obtained from the application of attribute selection algorithm

The result shown in this paper represents the actual progress of the present work. Remaining future work consists in the realization of the classification of customers using the two data warehouses formed until now. The first Dataset consisting of 72 attributes, from the original stages of the selection, extraction and preprocessing and, the second Dataset formed by 30 more relevant attributes, generated with the results given by the attributes selection algorithm. The next step is to test the classification algorithms and compare the results obtained, to visualize the two data warehouses, which is one of the most efficient and adequate way to classify the company's customers.

5 Conclusion & future work

The present work represents a contribution for companies which do not have a medium of data analysis, and for those, who need to standardize and homogenize the information history they have stored, no matter what business they have. As a result

knowledge generated from the stored information offers competitive advantages by applying business intelligence for the benefit of companies.

With the obtained results, the following works were visualized in the short and medium term:

- To carry out the customer classification model, with the generated data or dataset, thus identifying the ones that generate the best results for this purpose.
- For the specific case of the data warehouse studied in this work, the results obtained for the generation of a Customer Classification System can be used to give financial certainty, on the monthly income of any company based on the clients behavior regarding their payments.
- Techniques can be implemented to give certainty, to the number of optimal attributes that should integrate the dataset according to the characteristics of future applications.
- It is recommended to carry out works that allow the measurement and efficiency of the different generated dataset to be measured with different metrics.

References

1. Ian, W., Eibe, F., Hall, M., Pal, C. (4ta. Edición). (2017). Data Mining Practical Machine Learning Tools and Techniques. United States: Editorial Morgan Kaufmann
2. Torruco, J., Canul, J. (2014). Feature Selection for Better Identification of Subtypes of Guillain-Barré Syndrome. Computational and Mathematical
3. Martín, R. (2017). Predicción y selección de características, mediante análisis local de la fiabilidad, para el mercado de valores y su extensión a problemas de clasificación (Tesis Doctoral). Departamento de Informática, Universidad Carlos III de Madrid. España.
4. Cruz, R., Lavernia, A., Franco, A., Simon, I. (2017). Estudio del comportamiento de algoritmos de clasificación según la naturaleza de los datos. Revista de Tecnología Informática. Vol. 1 No. 2, 9-18.
5. Aboobyda J. & Taring M. (2016). Developing prediction model of loan risk in Banks using data mining (Vol. 3). Khartoum, Sudan.

2nd International Symposium on Intelligent Computing Systems ISICS 2018

<u>Autor</u>	<u>Página</u>
Acosta Montalvo Carlos	19
Alonzo Canul Laura Cristina	13
Ávila Uc Ismael de J.	55
Borges Chan Israel	73
Brito Loeza Carlos	1, 19, 67, 85
Brito Pacheco Carlos	1
Brito Pacheco Daniel Antonio	109
Callejas Tavera Álvaro	37
Canul Irigoyen H. A.	43
Carrillo Bermejo Ángel	79
Clemente Medina María del Carmen	61
Coba Tun J. R.	91
Coss Geenkel	115
Ehuan Collí Félix Román	97
Espinosa Romero Arturo	7, 19, 103

2nd International Symposium on Intelligent Computing Systems ISICS 2018

Autor	Página
Góngora Sergio	115
González González P.	91
González Mildred	115
González Rajiv	115
Haro Álvarez A. Paulina	43, 55, 73, 91, 97
Hernández Chan Gandhi Samuel	127
Hernández Nuñez Jacqueline Lissette	49
Hevia-Montiel Nidiyare	43, 55, 61, 73, 79, 91, 97
Ku Maldonado C. A.	43
Legarda Saenz Ricardo	85
Luna-González Javier	61, 67
Lupiáñez Bellido Alejandro	25
Martin González Anabel	7, 67, 79, 103
Martinez-Aranda Omar	103
Méndez-Monroy Paul Erick	31, 49

2nd International Symposium on Intelligent Computing Systems ISICS 2018

Autor	Página
Molino-Minero-Re Erik	13, 37, 43, 55, 61, 73, 91
Negrón-Granados Juan	115
Pacheco-Pantoja Eida	67
Poot-Chin Manuel	85
Rosado Jr. William M.	79
Roshan Biswal Rajesh	127
Rosales Pérez J. Alberto	121
Sánchez de la Cruz Eddy	127
Sánchez Domínguez Israel	25, 31, 49
Toledo Martínez Sidney René	127
Turriza Suarez Alex Antonio	7
Valladares José Humberto Pérez	31
Viana Rafael	115

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN
MÉRIDA YUCATÁN 2018