

SISTEMA DE PRIORIZACIÓN DE FALLAS DE UN MONITOR DE SIGNOS VITALES A PARTIR DE LÓGICA FUZZY

Karen J. Mendoza Bautista^a, Ángelo Pastrana Manzanero, María G. Ramírez Sotelo,
Agustín I. Cabrera Llanos^b,

Departamento de Bioprocesos, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología
del Instituto Politécnico Nacional, México, CDMX,

^a mendoza_bautista@outlook.com, ^b acillbuda@yahoo.com

RESUMEN

En el presente trabajo se muestra, el desarrollo de dos sistemas MISO (*Multi Input Single Output*), de lógica fuzzy, utilizado para la priorización fallas existentes en un monitor de signos vitales, tanto fallas fisiológicas como técnicas, el monitor empleado para el diseño cuenta con: electrocardiograma (ECG), frecuencia cardiaca (FC), frecuencia respiratoria (FR), temperatura (T) y saturación parcial de oxígeno (SPO2). Ambos sistemas poseen las etiquetas de salida: normal, leve, moderado y crítico. Posteriormente de ser diseñados los sistemas fuzzy MISO, se realizó una prueba Montecarlo comprobando la funcionalidad de estos.

Palabras clave: monitor de signos vitales, priorización de fallas, lógica fuzzy.

ABSTRACT

This paper shows the development of two MISO systems (*Multi Input Single Output*), of Fuzzy logic, used to prioritize existing failures in a vital signs monitor, both physiological and technical failures, the monitor used for the design has: electrocardiogram (ECG), heart rate (FC), respiratory rate (FR), temperature (T), and partial oxygen saturation (SPO2). Both systems have the output tags: normal, leve, moderado y crítico. After being designed the fuzzy MISO systems, a Monte Carlo test was carried out checking the functionality of these.

Keywords: vital sings monitor, prioritization failures, fuzzy logic.

1. INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de los sistemas de priorización de las fallas de un monitor de signos vitales, se considera los tipos de errores que pueden existir en estas, creando dos sistemas fuzzy MISO (*Multi Input Single Output*) los cuales toman en cuenta las variables existentes en cada tipo de error, así como los valores en los que estas se consideran normales y en los que son anormales. Los sistemas fuzzy fueron realizados con la plataforma de LabVIEW, misma donde se realizó la prueba de funcionalidad, método Montecarlo.

2. TEORÍA

A. Los monitores de signos vitales

Los monitores de signos vitales surgen como una necesidad de evaluar de manera constante las condiciones fisiológicas de los soldados heridos de guerra después de la segunda guerra mundial, con el fin de mantenerlos dentro de los niveles considerados como normales y, por lo tanto, disminuir el número de muertes durante la hospitalización [1].

Como su nombre lo dice, los signos vitales son señales o reacciones que presenta un ser humano con vida que revelan las funciones básicas del cuerpo. De acuerdo con el CENETEC [2], los principales parámetros fisiológicos que proporcionan los monitores de signos vitales son: la frecuencia cardíaca (FC), la frecuencia respiratoria (FR), la presión sanguínea no invasiva (PANI), temperatura (T), la saturación de oxígeno (SPO2) y la electrocardiografía (ECG).

Según [3], los monitores de signos vitales pueden mostrar dos tipos de fallos: fisiológico y/o técnicas, en la tabla 1 podemos observar una clasificación de fallas de acuerdo con su nivel de prioridad.

TABLA I. Clasificación de las fallas de acuerdo a su gravedad

| Clasificación de la gravedad. | | | |
|-------------------------------|----------|--|--|
| Nivel | Color | Falla fisiológica | Falla técnica |
| Alta | Rojo | Situación en la que pone en peligro la vida del paciente | Un fallo grave en el dispositivo en el que el monitor no puede detectar un estado crítico del paciente |
| Media | Naranja | Constantes anormales del paciente | Fallo del dispositivo que no ponga en riesgo la vida del paciente. |
| Bajo | Amarillo | Constantes anormales del paciente, ligeramente superior a la normal. | Mal funcionamiento del dispositivo, pero no pone en riesgo la vida del paciente. |

B. Lógica fuzzy (difusa)

La lógica *fuzzy* o lógica difusa es una rama de la inteligencia artificial, la cual permite simular el proceso del pensamiento humano a partir de incertidumbres o juicios de valor. Lo que se logra utilizando como referencia sistemas basados en el conocimiento.

A diferencia de la lógica Booleana que considera la pertenencia absoluta o la no pertenencia de la variable a analizar con un conjunto, la lógica difusa toma en cuenta valores de

pertenencia a dicho conjunto, variando los valores entre el 0 y el 1. Adicionalmente la lógica difusa permite hacer relación de variables lingüísticas, agregando etiquetas a las funciones de membresía.

Para lograr los valores de pertenencia, se utilizan variables de membresía, las cuales relacionan los valores que puede tener la variable con la pertenencia al conjunto. A partir de la función de membresía la variable pasa por un proceso de *fuzzificación* por el cual se obtiene el valor de pertenencia dentro de las funciones a las que llegue a pertenecer. Posteriormente se evalúa la entrada a partir de un conjunto de reglas que define el usuario, el resultado de esta evaluación pasa por un proceso de *defuzzificación* y se obtiene la salida del sistema.

C. Método Monte Carlo

Se denomina *método o simulación de Monte Carlo* es una serie de procedimientos que permiten analizar las distribuciones de las variables aleatorias mediante el uso de números aleatorios.

Es un método aplicable a problemas determinísticos o estocásticos, y da solución a diversos problemas matemáticos de muestreo estadístico a partir de uso de ordenadores, el método de Monte Carlo, a diferencia de otros métodos utilizados usa el objeto de investigación como el objeto en sí, a través de un número aleatorio o pseudo-aleatorio que permite estudiar el modelo.

La simulación Monte Carlo parte de crear un modelo matemático del sistema para analizar, e identificar las variables de entrada del modelo que poseen un comportamiento aleatorio, a las cuales se les asigna un número aleatorio como se mencionó anteriormente, posteriormente a la identificación de estas variables se realiza un experimento que consta de:

- Generar muestras aleatorias para las variables de entrada, mediante un ordenador.
- Analizar el comportamiento del sistema con los valores generados.

Se repite n veces el experimento, y observa el comportamiento del sistema en n repeticiones, a fin de comprender el comportamiento del sistema [6].

D. LabVIEW

LabVIEW, acrónimo de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench, es un entorno de desarrollo integrado y diseñado especialmente para ingenieros y científicos. Nativo de LabVIEW es un lenguaje de programación gráfica (G) que utiliza un modelo de flujo de datos en lugar de líneas secuenciales de código de texto, lo que le permite escribir código funcional utilizando un diseño visual que se asemeja al proceso de pensamiento. Esto significa que el programador emplea menos tiempo preocupándose por el punto y coma y la sintaxis y más tiempo resolviendo los problemas que importan [7].

3. PARTE EXPERIMENTAL

A. Fallas fisiológicas

Las variables consideradas dentro de las fallas fisiológicas (FF) son:

- La frecuencia cardíaca (FC)
- La frecuencia respiratoria (FR)
- Temperatura (T)
- Saturación parcial de oxígeno (SPO2)

Esto es debido al hecho de que el monitor de signos vitales a la que aplicar el sistema de priorización de fallas sólo con la medición de: electrocardiograma, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, temperatura y saturación de oxígeno parcial, carente de la monitorización de la presión sanguínea no invasiva (PANI) [2].

Los parámetros considerados como normales y anormales para el desarrollo de la difusa del sistema fisiológico del MISO se basan en los errores marcados en [4].

B. Fallas técnicas

Fallas técnicas (FT) son aquellos que dependen del dispositivo (circuito), en el caso concreto del sistema fue diseñado para la priorización de este tipo de falla se consideran fracasos en:

- En la fuente de alimentación (pilas).
- Electrodos
- Oxímetro de pulso
- Sensores: temperatura y respiración.

Tomando en cuenta los niveles de funcionalidad de estos.

C. Desarrollo de sistemas

Los sistemas se han desarrollado teniendo en cuenta las variables mencionadas en los incisos A y B del apartado de desarrollo, las reglas fueron establecidas por el experto, en este caso, el diseñador de ambos sistemas, y se establecieron las salidas de ambos sistemas como (Fig. 1):

- Normal
- Leve
- Moderado
- Crítico

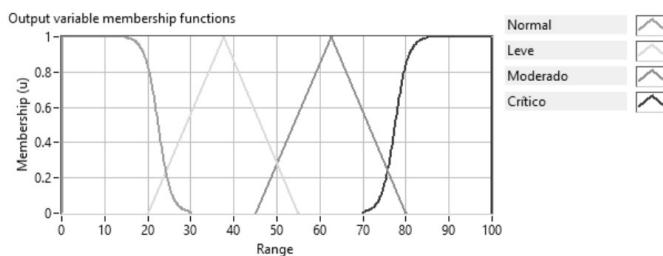


Fig. 1 Variables de salida de la composición de los sistemas MISO

4. RESULTADOS

En las Fig. 2 y Fig. 3 se muestran dos superficies obtenidas de los sistemas MISO, una de las fallas fisiológicas y la otra de fallas técnicas, respectivamente.

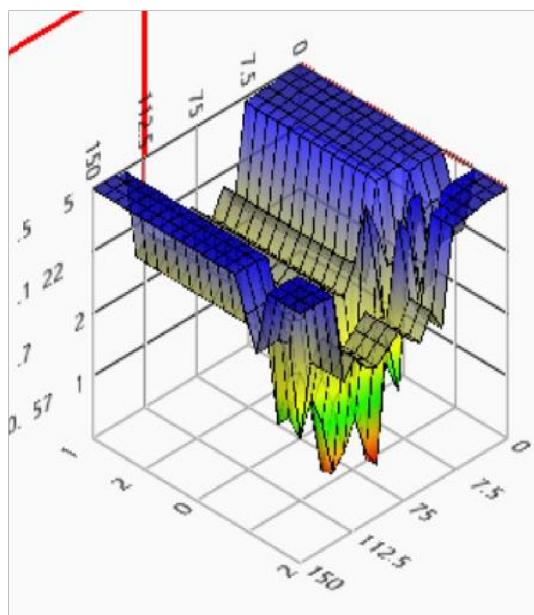


Fig. 2 Superficie de fracasos fisiológicos (FC-T)

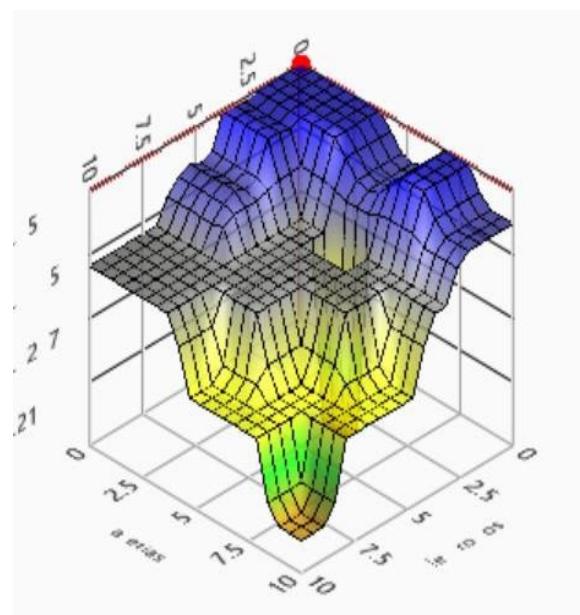


Fig. 3 Superficie de fallas técnicas (E-B)

Tras el establecimiento de las reglas, se demostró la funcionalidad de los sistemas mediante la simulación Monte Carlo, para el cual fue creado un programa (Fig. 4) en LabVIEW.

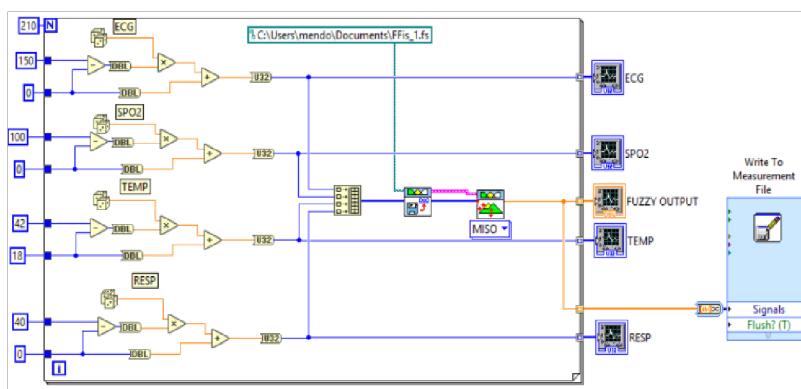


Fig. 4 programa de simulación de Monte Carlo (FF)

Para ambos sistemas se realizaron dos pruebas Montecarlo: uno con 100 muestras y otro con 2100 muestras (Fig.5 y Fig. 6)

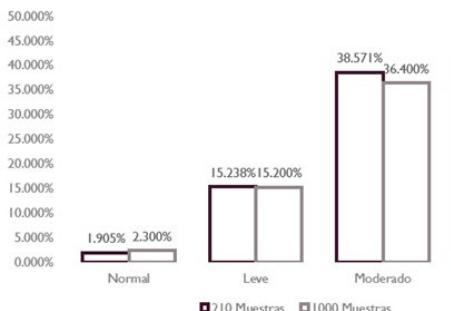


Fig. 5 Resultados de simulación de Monte Carlo en el MISO Sistema de FT

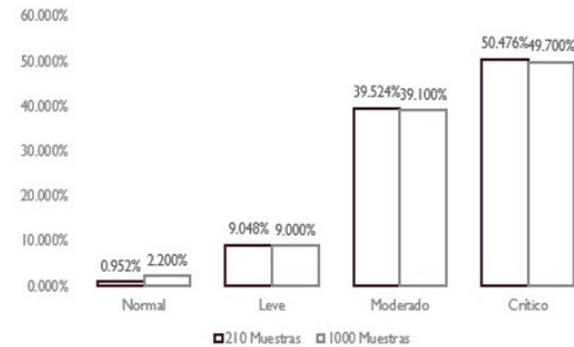


Fig. 6 Resultados de simulación de Monte Carlo en el MISO Sistema de FF

Posteriormente, se obtuvieron las medias y las varianzas de los sistemas, dichos datos se muestran en la Tabla 2.

TABLA II. Medias y las varianzas de las pruebas Monte Carlo

| Prueba de Monte Carlo | Fallas fisiológicas | | Fallos técnicos | |
|-----------------------|---------------------|-------|-----------------|-------|
| | Varianza | Media | Varianza | Media |
| 210 muestras | 14.51 | 75.71 | 2.45 | 7.53 |
| 1000 muestras | 16.08 | 75.81 | 2.64 | 7.50 |

En ambos sistemas de lógica difusa, se observa una similitud de comportamiento en ambas pruebas Monte Carlo realizadas. Ambos sistemas muestran un bajo índice de valores simulados que caen sobre la etiqueta del normal, con sólo un 0,952% y el 2,2% de los casos de fallas fisiológicas, mientras que en el caso de fallas técnicas muestra 1.905% y 2.300%. En la etiqueta se muestra un leve incremento en la incidencia de casos en que la etiqueta anterior, con un 9,048% y 9% para FF, por otro lado, las FT tiene un 15,238% y 15,2%. Los valores de la etiqueta moderada en FF son de 39,524% y 39,1% en FT son 38,571% y 36,4%. La mayoría de los datos obtenidos de las simulaciones caen sobre la etiqueta crítico en ambos casos, lo que representa el 56,474% y el 49,7% de las FF, mientras que para las FT representa un 44,286% y 46,1% de los casos.

El comportamiento de las etiquetas aparentemente se comporta de manera exponencial, lo que puede atribuirse al comportamiento de las variables aleatorias, demostrado a partir de obtener las medias y varianzas de los sistemas.

5. CONCLUSIONES

Los sistemas de priorización de fallas construidos cuentan con diferentes parámetros, los cuales se establecieron de acuerdo con el tipo de falla, para el FF los valores de las funciones de pertenencia de las entradas en el sistema fluctúan de acuerdo con los valores que esto puede tomar, y los valores de salida fluctúan entre 0 y 100, mientras que para el FT los valores de las funciones de membresía de entrada y salida se distribuyen de 0 a 10. Se demostró la funcionalidad de estos algoritmos mediante la aplicación del método de Montecarlo. Estos sistemas muestran la funcionalidad y la aplicabilidad a los monitores de señales vitales con las mismas especificaciones.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Marshall Jhon C, Bosco Laura, Adhikari Neil K., Connolly Bronwen, Diaz Janet V., Dorman Todd, Fowler Robert A., Meyfroidt Geert, Nakagawa Satoshi, Pelosi Paolo, Vicent Jean-Louis, Vollman Kathleen, Zimmerman, «What is an intensive care unit? A report of the task force of the World Federation of Societies of Intensive and Critical Care Medicine», *ELSEVIER*, vol.37,p.270-276, 2018.
- [2] Secretaría de Salud, «Guías tecnológicas,» enero 2005. [En línea]. Available: http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/biomedica/guias_tecnologicas/13gt_monitores.pdf.
- [3] Secretaría de Salud. «Guía de referencia rápida» enero de 2005. Obtenido de CENETEC: <http://www.cenetec-difusion.com/CMGPC/ISSSTE-339-08/R.pdf>
- [4] Orea, A. A. (2017). Algoritmo difuso para la gestión de equipo médico, orientado por protocolos de prioridad, aplicado en el inventario del Hospital General 450 de Durango. Ciudad de México.
- [5] Cruz, P. P. (2010). Inteligencia artificial con aplicaciones a la Ingeniería. Ciudad de México: Alfaomega.
- [6] National Instruments, «Manuals,» 2004. [En línea]. Available: www.ni.com/pdf/manuals/371303n.pdf.