

# Informe del Proyecto Sistema de Inferencia Difusa. Simulación.

## Curso 2020-2021

Leonel Alejandro García López

Grupo C412

L.GARCIA3@ESTUDIANTES.MATCOM.UH.CU

### Tutor(es):

Dr. Yudivián Almeida Cruz, *Facultad de Matemática y Computación, Universidad de La Habana*

Lic. Gabriela Rodríguez Santa Cruz Pacheco, *Facultad de Matemática y Computación, Universidad de La Habana*

Lic. Daniel Alejandro Valdés Pérez, *Facultad de Matemática y Computación, Universidad de La Habana*

**Tema:** Simulación, Lógica Difusa

## 1. Introducción

Como proyecto se propuso la implementación de un Sistema de Inferencia Difusa, donde debíamos implementar como funciones de pertenencia la triangular o trapezoidal, dos de los métodos de agregación existentes y todas las funciones de desfusificación. Todo esto con el objetivo de implementar una librería que permita resolver un problema que a su vez valide librería o sistema propuesto.

### 1.1 Estructura

El proyecto está estructurado por las carpetas **doc** y **fuzzy\_logic\_sytem**, para la documentación y la implementación del sistema respectivamente, en la raíz del proyecto se encuentra contenido también en un archivo py **main.py** el problema que me propuse a resolver, para demostrar la utilización de mi librería.

### 1.2 Implementación

Ahora introduciéndonos en la implementación, sobre el **fuzzy\_logic\_sytem** a continuación una disertación de cada una de sus partes.

#### Conjuntos Difusos

Como primera entidad crucial en este sistema definimos conjunto Difuso en la clase abstracta *FuzzySet* que solo contiene un nombre, y una función de membresía, luego una implementación concreta de este conjunto difuso teórico, el *CustomizableFuzzySet* que permite además especificar un dominio de definición, una función de membresía y una lista de puntos definitorios para la función y el conjunto dominio, se le definió el operador de  $+$  para realizar de una forma legible la unión entre conjuntos, que da como resultado otro definido en la clase *UnionFuzzySet* que hereda de la anterior definición y que no es más que la unión de los dominios, y las funciones de membresía aplicadas con una *t-conorma* pasada como argumento (por defecto tiene

$t\text{-conorma} = \max()$ ).

Otras implementaciones particulares de esta clase *CustomizableFuzzySet*, fueron una para cada función de membresía siguiente:

- *GammaFuzzySet*,
- *LFuzzySet* (función  $l$  opuesta de *gamma*),
- *LambdaFuzzySet* (también llamado *TriangleFuzzySet*),
- *TrapezoidalFuzzySet* (también llamado *PiFuzzySet*),
- *SigmoidalFuzzySet* (*sigmoidal* o función  $s$ ),
- *ZFuzzySet* (función  $z$  opuesta de  $s$ )
- *GaussianFuzzySet* (definida como una composición de las funciones  $z$  y  $s$ )

#### Variable Lingüística

La siguiente definición implementada fue la de variable lingüística, encapsulada en la clase *LanguageVariable* que posee un nombre, y un conjunto de conjuntos difusos que caracterizan la propiedad o rasgo representada por la variable. Esta almacena y permite el acceso a los grados de pertenencia (para los conjuntos que contiene) de forma sencilla, por medio de su método *fuzzify*. Es importante aclarar que definí el operador módulo (%) para una sintaxis mas fluida al expresar una operación que como resultado retorna un valor numérico entre 0 y 1 como valor o grado de pertenencia.

#### Preposiciones o Antecedentes

Para la construcción de proposiciones nos definimos una jerarquía de *FuzzyProposition* siendo esta la clase abstracta raíz, que contiene implementaciones de las sobrecargas para los operadores — (operación *or* entre preposiciones), el  $\&$  (operación *and*) y el operador  $\neg$  o *invert* (operación *not* que resulta en el valor opuesto de

la función de pertenencia  $f(x) = 1 - f(x)$ . Esta clase también permite especificar una *tnorma* y *tconorma* que por defecto esta definida con *min* y *max* respectivamente.

De esta clase se derivan implementaciones para las operaciones binarias, (*AndFuzzyProposition* y *OrFuzzyProposition*), como para las unarias (*MembershipProposition*, y *NotFuzzyProposition*)

## Reglas

Luego, viene una composición, regla difusa *FuzzyRule*, la cual esta conformada por un *proposition* o antecedente, un *consecuente* y un *method\_transformer* o método de transformación aplicable a conjuntos difusos que puede estar especificado o no, este es utilizado para obtener los conjuntos difusos transformados para el procesamiento de *Larsen* o *Mamdani* en cada uno de las variables resultantes (del consecuente) de cada regla. Esta definición también está compuesta por un método *evaluate* que por defecto retorna el valor resultante de evaluar la preposición y un diccionario de  $\{\text{nombre\_de\_variable\_lingüística: conjunto\_difuso\_transformado}\}$ , y puede ser sobrescrito para utilizar otros métodos de inferencia.

A partir de este *FuzzyRule*, derivan dos implementaciones una regla *LarsenRule* para solucionar por el método de agregación de *Larsen* y otro *MamdaniRule* para la resolución por *Mamdani*. Notar que para facilitar las operaciones de escalado y corte que realizan estos métodos sobre los conjuntos de consecuentes en cada regla resultó sencillo apoyarnos en la extensible clase *CustomizableFuzzySet*, implementando así *MamdaniCut* y *LarsenScale*.

Llegados a este punto tenemos reglas que lucen de esta forma:

```
rule2 = fs.MamdaniRule(
    (
        (heart_rate % 'slow') |
        (breathing_speed % 'decreasing')
    ) & (skin_conductance % 'normal'),
    [
        (stress_level, 'low')
    ]
)
```

## Sistema de inferencia

Por último está la clase que enlaza todas las partes, donde la inferencia se realiza, *FuzzyInferenceSystem* que recibe en su constructor un listado de todas las reglas definidas. Para a partir de su método *infer* que recibe un diccionario de valores de entrada para evaluar las reglas, una *t-conorma* que por defecto es *max* y un método de desfusificación que por defecto es *centroide\_dediffusion*, obtener un diccionario con el valor final de todas las variables de los consecuentes.

## Desdifusificación

Para obtener una respuesta por los métodos de agregación *Mamdani* y *Larsen* es necesario aplicar uno de los métodos desfusificación entre los implementados, el utilizado en proyecto como por defecto es el método del *Centroide* a continuación un listado de los implementados:

- **Smallest of Maximum:** genera el menor  $x$  donde se alcanza el máximo.
- **Largest of Maximum:** genera el mayor  $x$  donde se alcanza el máximo.
- **Middle of Maximum:** genera el promedio de aquellos valores de control  $x$  donde se alcanza el máximo.
- **Centroide:** genera el centro de gravedad de los conjuntos que conforman la agregación.
- **Bisection:** genera el valor  $x$  tal que particiona el área en dos regiones iguales.

## 2. Consideraciones

La forma en que se estructuró e implementó este sistema fue con la idea de hacerlo sostenible en el tiempo, fuera fácil de usar y tuviera una sintaxis simple de leer. Como idea inicial se pensó en separar la definición de un conjunto difuso de su función de membresía, pero como el concepto de ambos está muy entrelazado encontré pertinente su unificación en una sola clase, que a su vez encapsula toda la funcionalidad de un conjunto difuso, y lo hace fácilmente extensible y modificable.

## 3. Problema Planteado

### 3.1 Detector de Mentiras

Para este problema se presuponen condiciones óptimas del ambiente donde se realizan las mediciones, así como también que los sujetos no padezcan hipertensión o hipotensión arterial, hiperhidrosis u otra afección que altere los rangos promedio que en este ejemplo se prefijan (de otra forma deben ser modificados los rangos de las variables). Los sujetos sospechosos al ser interrogados es difícil determinar cuando están o no mintiendo. Dado este tipo de situaciones se les conectan por medio de sensores al cuerpo, a una máquina (polígrafo) le hacen una pregunta al interrogado y a partir de los resultados obtenidos en ese intervalo de tiempo y una grado de *credibilidad* aportado por el interrogador, conforman un *veredicto* sobre la veracidad de las palabras del cuestionado.

Las variables lingüísticas que en este proceso intervienen, con las respectivos conjuntos que representan, las muestro a continuación:

- **Credibilidad (grado):**  
*credible: Sigmoidal, domain(0, 10)*

- *Frecuencia Cardíaca* (beats/min):
  - slow*:  $l$ , domain(0, 70)
  - medium*: *trapezoidal*, domain(55, 120)
  - fast*: *gamma*, domain(110, 180)
- *Presión Sanguínea Sistólica* (mmHG):
  - normal*:  $z$ , domain(70, 120)
  - slightly-high*: *gaussiana*, domain(110, 140)
  - high*: *sigmoidal*, domain(130, 180)
- *Presión Sanguínea Diastólica* (mmHG):
  - normal*:  $z$ , domain(50, 90)
  - slightly-high*: *gaussiana*, domain(75, 95)
  - high*: *sigmoidal*, domain(90, 110)
- *Velocidad Respiratoria* (grado de cambio):
  - decreasing*:  $z$ , domain(-10, 0)
  - constant*: *gaussiana*, domain(-2, 2)
  - increasing*: *sigmoidal*, domain(0, 10)
- *Conductancia de la piel*(grado):
  - normal*:  $z$ , domain(0, 10)
  - high*: *sigmoidal*, domain(8, 20)

Variables lingüísticas resultantes:

- *Nivel de estrés* (grado):
  - low*:  $z$ , domain(0, 45)
  - medium*: *gaussiana*, domain(3, 7)
  - high*: *sigmoidal*, domain(5.5, 10)
- *Veredicto* (grado):
  - lying*  $z$ , domain(0, 5.5)
  - not\_lying* *sigmoidal*, domain(4.5, 10)

Ahora las reglas definidas para este problema pueden ser tan complejas como uno desee, pero por simplificar las explicación a continuación un sumario de la semántica detrás de cada regla:

- Rule1 Si alguno de los parámetros utilizados para medir la respuesta corporal tiene valores altos, entonces considero que potencialmente se trata de una mentira y el estrés provocado es alto.
- Rule2 Si alguno de los parámetros utilizados para medir la respuesta corporal tiene valores muy bajos, considero que potencialmente se trata de bajo estrés provocado y nada que decir de la veracidad.
- Rule3 Si los parámetros utilizados para medir la presión arterial arrojan resultados estables, considero que el nivel de estrés es bajo y no esta mintiendo.
- Rule4 Si los parámetros utilizados para medir la presión arterial arrojan resultados ligeramente altos, considero que el estrés esta en un nivel medio y nada que aportar a la veracidad.

Rule5 Si los parámetros utilizados para medir la presión arterial arrojan resultados altos, considero que el estrés esta en un nivel alto también y es una potencial mentira

Rule6 Esta sección va centrada en si alguno de los 3 valores de Ritmo Cardíaco, Velocidad Respiratoria o Conductancia de la piel es alto, y tiene otro de estos que se encuentra en la medida de lo normal (medianamente alto), todos implican a que el nivel de estrés es medio y se trata de una mentira:

Rule6.1 Si la Conductancia de la piel es alta (sujeto sudoroso), con un Ritmo Cardíaco estable o una Respiración constante.

Rule6.2 Si el Ritmo Cardíaco es rápido, con una Conductancia de la piel normal o una Respiración constante.

Rule6.3 Si la Velocidad Respiratoria aumenta, con una Conductancia de la piel normal o un Ritmo Cardíaco estable.

Rule7 Si los parámetros utilizados para medir el Ritmo Cardíaco y la Velocidad Respiratoria arrojan resultados de un comportamiento estable, considero entonces que estamos en un caso de estrés medio y el sujeto no esta mintiendo.

Rule8 Si los parámetros utilizados para medir el Ritmo Cardíaco y la Velocidad Respiratoria arrojan resultados de un comportamiento medianamente bajos, con una Conductancia normal, considero entonces que estamos en un caso de estrés bajo y el sujeto no esta mintiendo.

Rule9 Si la respuesta recibida aporta Credibilidad, considero que es veraz la misma, no se esta mintiendo.

Rule10 Si la respuesta recibida carece de sentido, considero que estamos en presencia de una mentira.

### 3.2 Resultados Obtenidos

En ambiente ideal, los resultados arrojados por *Mamdani* respecto a las reglas anteriormente descritas, los resultados fueron los esperados, a continuación algunos ejemplos.

Para un estado corporal estable, comportamiento calmado y una credibilidad discreta, se obtiene un grado de veracidad en el rango de lo verídico pero con resultados no tan impresionantes:

#### VALUES:

Degree of Credibility (appreciation) [0, 10]:	6
Heart Rate (BEATS/MINUTES) [30, 180]:	50
Blood Systolic Pressure (mmHg) [90, 180]:	100
Blood Diastolic Pressure (mmHg) [60, 110]:	70
Breathing Speed (Degree) [-10, 10]:	2
Skin Conductance (relating with the sweat) [0, 20]:	5

#### CONCLUSIONS:

StressLevel: 2.00 / 10  
Veredict: 5.91 / 10

Para un estado corporal inestable y nervioso, con una credibilidad por debajo de la media pero no tan pronunciada, tenemos los siguientes:

-----  
VALUES:

Degree of Credibility (appreciation) [0, 10]:	4
Heart Rate (BEATS/MINUTES) [30, 180]:	75
Blood Systolic Pressure (mmHg) [90, 180]:	110
Blood Diastolic Pressure (mmHg) [60, 110]:	90
Breathing Speed (Degree) [-10, 10]:	4
Skin Conductance (relating with the sweat) [0, 20]:	10

-----

CONCLUSIONS:

StressLevel: 5.65 / 10  
Veredict: 3.85 / 10

#### 4. Conclusiones

Ya en este punto se hace evidente la utilidad de la lógica difusa en variedad de problemas, sobre todo en la interpretación no binaria de la realidad, que reduce la complejidad para tomar decisiones y desarrollar sistemas complejos que se destacan en la automatización de procedimientos reactivos con sistemas de medida gradual.