

HACIA LA OPTIMIZACIÓN USANDO COMPUTACIÓN CON PALABRAS

TOWARDS COMPUTING WITH WORDS FOR OPTIMIZATION

RESUMEN

Este trabajo se enfoca a aspectos conceptuales para la implementación de técnicas de razonamiento aproximado como los conjuntos difusos Tipo-2 para representar palabras en problemas de optimización. La Computación Con Palabras (CWW por sus siglas en inglés) es un concepto emergente que puede manejar el lenguaje natural utilizando conjuntos difusos, rugosos, etc. Así que su potencial aplicación parece ser un paso natural. Así pues, presentamos algunas consideraciones que deben ser tenidas en cuenta en futuros desarrollos de técnicas de CWW.

Palabras clave: Computación con palabras, Optimización, Conjuntos difusos Tipo-2.

ABSTRACT

This work focuses on conceptual aspects for the implementation of approximate reasoning techniques such as type-2 fuzzy sets to represent words in optimization problems. Computing With Words (CWW for its acronym in English) is an emerging concept that can handle natural language using fuzzy, rough sets, etc. So their potential application seems to be a natural step. Thus, we present some considerations that must be taken into account in future developments of techniques CWW.

Keywords: Computing with words, Optimization, type-2 fuzzy sets.

1. INTRODUCCIÓN

El relativamente reciente uso que se le ha dado a los conjuntos difusos (FS por sus siglas en inglés) para representar palabras (ver Zadeh [2,3]) ha abierto una puerta para usar el lenguaje natural en aplicaciones computacionales. Junto a los FSs, el uso de elementos de lógica teórica y otros conceptos formales se han convertido en una herramienta importante en las aplicaciones reales exigidas por la industria, la academia y otros estamentos (ver Melgarejo [11], Klir [7,8], y Figuerueroa & Hernández [9]).

Juan Carlos Figuerueroa García:

Ingeniero industrial – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. Doctor en ingeniería – Universidad Nacional de Colombia – Colombia. Docente – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia – jcFiguerueroag@udistrital.edu.co, filthed@gmail.com

Germán Jairo Hernández Pérez:

Ingeniero de sistemas – Universidad Nacional de Colombia – Colombia. Postdoctorado Center for Earthquake Research and Inform – U.S.G.S. – U. of Memphis – Estados Unidos – Ph D Computer Science – The University Of Memphis – Estados Unidos – Maestría en Estadística, Maestría en Matemáticas – Universidad Nacional de Colombia – Colombia. Docente – Universidad Nacional de Colombia – Colombia – gjhernandezp@unal.edu.co, gjhernandezp@gmail.com

Cesar Amilcar López Bello:

Magister en ingeniería industrial – Universidad de los Andes – Candidato a doctor en ingeniería – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. Docente – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia – clopezb@udistrital.edu.co, msccesar.lopez@gmail.com

Tipo: Reporte de Caso

Fecha de Recepción: 18-Abr-2014

Fecha de Aceptación: 24-Jun-2015

Hay algunos avances en el desarrollo de software específico FSs y lógica difusa (ver Klir [7,8], y Mendel [4]) que son ampliamente utilizados por la comunidad académica para resolver problemas que involucran diferentes fuentes de incertidumbre. Esto nos lleva a pensar que el razonamiento aproximado usando lenguaje natural tiene un gran potencial en la solución de problemas de optimización, donde el lenguaje junto con el manejo de la incertidumbre (en diferentes formas) son problemas muy comunes.

Así pues, el uso de FSs para el manejo de incertidumbre en el lenguaje natural e imprecisión en los datos ha sido suficientemente reportado y trabajado en la academia. Muchas técnicas de optimización se han popularizado, por lo que muchas compañías están intentando utilizarlas como plataformas de apoyo a la decisión en sus actividades diarias, por lo que el uso de CWW para la resolución de problemas que involucran incertidumbre no probabilística aparece como una opción interesante.

Aun cuando los FSs cubren imprecisión alrededor de las palabras y algún tipo de incertidumbre sobre los datos, hay otras fuentes de incertidumbre como la incertidumbre Lingüística y el Ruido que no pueden ser manejadas a través de medidas probabilísticas y/o determinísticas. Las primeras se relacionan con el hecho que "Diferentes palabras significan diferentes cosas a diferentes personas" (Mendel [1]) y la segunda se relaciona con aleatoriedad e impredecibilidad. FSs pueden manejar ambos tipos de incertidumbre, pero como como siempre, así como el problema se vuelve complejo, necesitamos métodos específicos.

Este trabajo se enfoca en aspectos de inmediato interés de CWW para optimizar problemas como el de programación lineal, modelamiento matemático, toma de decisiones, sistemas expertos, etc. Algunos aspectos computacionales se discuten y algunas aplicaciones potenciales se vislumbran.

El trabajo está dividido en 5 secciones: la sección 1 es la introducción del trabajo. La sección

2 presenta algunos conceptos acerca de CWW y medidas de incertidumbre. En la sección 3, se presentan algunos aspectos que conectan CWW con problemas de optimización. La sección 4 muestra algunas aplicaciones potenciales de CWW en optimización, y finalmente la sección 5 presenta las conclusiones del trabajo.

2. COMPUTACIÓN CON PALABRAS

El término Computing With Words fué acuñado por Lofti A. Zadeh sus trabajos tempranos (Zadeh [10]) para referirse al concepto de Conjuntos difusos para computar palabras, que después fué extensivamente retomado por Jerry Mendel [4-6] para referirse a incertidumbre lingüística manejada a través de conjuntos y sistemas difusos en condiciones de incertidumbre, a.k.a sistemas difusos Tipo-2. Otros autores como George Klir [7,8] han tratado el tema de CWW usando otro tipo de teorías y formas de medida de la incertidumbre.

Otras teorías pueden aplicarse en CWW, ya que no existe limitación alguna para el manejo de las palabras y su computación. Sistemas expertos, conjuntos rugosos, computación bioinspirada, computación en paralelo, inteligencia computacional, teoría de la estadística, técnicas de toma de decisiones, etc. Pueden utilizarse para el manejo adecuado de la incertidumbre inmersa en las palabras.

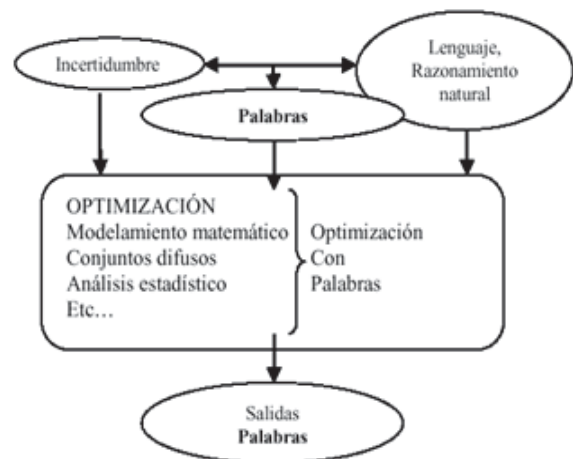


Figura 1. Plataforma para implementar CWW
Fuente: Autor

Mendel [1] enfatizó que un modelo clásico precisa palabras utilizando matemática abstracta la cual es ampliamente aceptada como una forma adecuada de componer conjuntos difusos a través de funciones. Esto implica tener un conocimiento amplio acerca conjuntos difusos, sus definiciones matemáticas y/o ejemplos no-lingüísticos de las palabras para definir por completo un conjunto difuso.

Otra manera de definir un conjunto difuso es usando Modelos de palabras los cuales buscan usar ejemplos basados en lingüística, lenguaje natural y razonamiento aproximado para lograr definir un conjunto difuso. Este método usa el conocimiento de las personas para establecer la forma como los conjuntos difusos, la incertidumbre y sus conceptos asociados son manejados. El uso de múltiples personas para generar conocimiento implica tener ambigüedad, borrosidad, falta de especificidad, y otras fuentes de incertidumbre que afectan la definición de un conjunto difuso.

Ciertas teorías han sido usadas en el manejo de la incertidumbre:

- Matemática determinística
- Conjuntos difusos
- Sistemas expertos
- Conjuntos rugosos
- Lógica teórica
- Filosofía (ontologías)

Implícitamente, la lógica difusa utiliza herramientas matemáticas, estructuras lógicas, y elementos filosóficos para representar una situación conocida como enfoque reduccionista, mientras que otras teorías para el manejo de problemas que no se basan en palabras como dinámica de sistemas, cadenas de suministro (logística), modelos de agentes inteligentes, etc. usan un enfoque conocido como holístico, el cual es una manera adecuada de modelar problemas complejos con niveles de incertidumbre elevados.

3. MODELAMIENTO DE PALABRAS

En términos de razonamiento aproximado, el analista debe tener en cuenta diferentes opiniones que provienen de diferentes personas,

aun cuando quieran referirse a la misma palabra relacionada con la misma variable; dichas opiniones no necesariamente vienen de una estructuración mental y matemática fuerte, y usualmente no han sido estructuradas desde la lógica formal, sino que provienen de aspectos perceptuales y la experticia de cada persona acerca del tema.

Este es un problema importante para los analistas que tienen una inclinación hacia lo matemático ya que la forma como se define una palabra o un concepto no proviene de un conocimiento completo del sistema en discusión. Por otra parte, el modelado de las palabras utiliza múltiples e inciertas percepciones que vienen de diferentes personas, y requieren métodos de inferencia específicos que necesitan manejar aspectos ontológicos relacionados con el lenguaje.

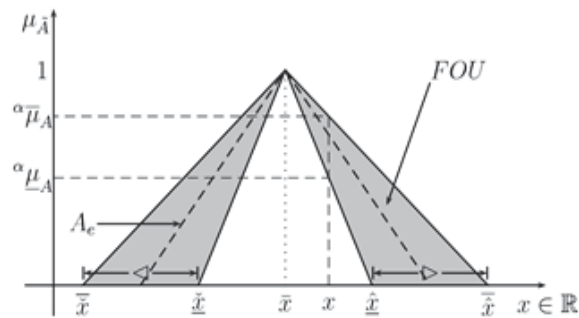


Figura 2. Conjunto difuso Tipo-2
Fuente: Autor

CWW implica utilizar algunas herramientas con el fin de hacer desarrollos satisfactorios, que se enfocan en los siguientes aspectos:

- Codificación de las palabras (entradas)
- Incertidumbre (numérica, lingüística, aleatoriedad)
- Conceptos
- Inferencia con incertidumbre y palabras (procesamiento)
- Conocimiento
- Modelos de palabras
- Decodificación de las palabras (salidas)
- Agregación
- Información y respuesta deseada

Mendel [4-6] desarrolló una teoría que permite modelar palabras utilizando conjuntos difusos Tipo-2, cuyo enfoque es el de manejar imprecisión, incertidumbre numérica y aleatoriedad contenida en una variable cualquiera. Un conjunto difuso A respecto a la variable X se define con su función de pertenencia $\mu_A(x)$ sobre X:

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1] \quad (1)$$

Donde A es una palabra que define un concepto asociado a X.

La función de pertenencia se asume que es única y bien caracterizada por definición. Esto no implica que exista una percepción sólida acerca de A definida sobre X, para lo que los conjuntos difusos son un herramienta bien conocida para cubrir imprecisión y aleatoriedad sobre X.

Otras fuentes de incertidumbre aparecen cuando múltiples personas tratan de definir la misma palabra A. Mendel [1] demostró que dos Fuentes de incertidumbre aparecen: (I) incertidumbre interna (ambigüedad) que es la incertidumbre que una sola persona tiene acerca de A, y (II) incertidumbre externa (desacuerdo y/o discordancia) la cual se refiere a la incertidumbre que múltiples personas tienen acerca de A.

Para manejar estas incertidumbres, los conjuntos difusos Tipo-2 proveen una plataforma teórica que cubre incertidumbre lingüística, aleatoriedad e imprecisión acerca de A. Un conjunto difuso Tipo-2 se caracteriza completamente mediante una función de pertenencia, definida a continuación:

$$\mu_A(x): F \rightarrow [0,1] \quad (2)$$

Más formalmente, puede ser definido como sigue:

$$A: \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \quad (3)$$

Donde se compone por una cantidad infinita de conjuntos difusos Tipo-1 en dos vías: con-

juntos difusos primarios ponderados por un conjunto difuso. En otras palabras:

$$A: \{(x, u), J_x, f_x(u) | x \in X, u \in [0,1]\} \quad (4)$$

La Figura 2 muestra el conjunto el cual se compone de una función de pertenencia superior y una función de pertenencia inferior, en cuyo dominio se incluye incertidumbre. Cada valor de x ponderadas por, por lo que la ambigüedad e incertidumbre acerca de x se incluyen en u, y la imprecisión se incluye en la Huella de Incertidumbre (FOU por sus siglas en inglés) de.

4. OPTIMIZACIÓN CON PALABRAS

Algunos problemas y/o métodos de toma de decisiones incluyen el uso de palabras e información lingüística para resolver problemas complejos. Ejemplos de esto son métodos son Brainstorming, DELPHI, decisiones multicriterio, etc., los cuales incluyen la percepción y/o opinión de la gente involucrada en el problema como un punto de partida.

Las técnicas de optimización clásica necesitan gran especificidad ya que no permiten el manejo de incertidumbre, por lo que el analista tiene que reducir los niveles de incertidumbre para poder encontrar una técnica clásica adecuada para resolver el problema, o por lo menos una parte del mismo. Esto implica perder información en el proceso de reducción de la incertidumbre, y finalmente las percepciones, opiniones y sensaciones de la gente que hace parte del sistema, no se tienen en cuenta.

De esta manera, hay una necesidad de diseñar métodos especiales que involucren información lingüística, lenguaje natural, e incertidumbre referente a múltiples personas. Aunque es un problema complejo, se supone que el uso de palabras y percepciones provee más información a la toma de decisiones que un enfoque determinístico.

Esto nos lleva a pensar que optimizar con palabras no es una tarea fácil, pero podemos tomar ventaja de las capacidades de cómputo actua-

les, usando diferentes estrategias donde una de las más populares se basa en la división del problema en varios subproblemas que componen la solución del mismo.

Para usar técnicas de optimización clásicas que involucren incertidumbre, recomendamos implementar una metodología de 3 pasos: 1- descomponer información, 2- cómputo de puntos factibles, and 3- recomponer la información obtenida. La propuesta se resume en la Figura 3.

Zadeh [10] ha definido un principio de toma de decisiones en condiciones de incertidumbre difusa, utilizando el principio de extensión que a su vez nos permite extender la matemática difusa a expresiones determinísticas. Dicho esto, podemos representar palabras usando conjuntos difusos Tipo-2 y el principio de extensión de Zadeh.

Para ello, necesitamos descomponer un conjunto difuso en una forma más simple que nos permita hacer cálculos de manera eficiente. Una forma eficiente de representar un conjunto difuso es usando cortes, aunque su precisión se puede ver comprometida. De cualquier manera, cortes hacen más fácil el trabajo de computar conjuntos difusos, por lo que se recomienda su uso.

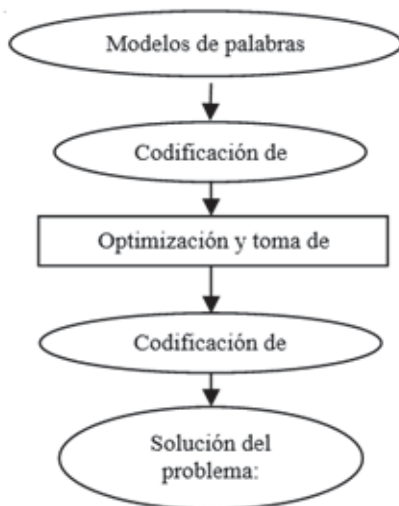


Figura 3. Uso de palabras para la optimización
Fuente: Autor

Después de descomponer un conjunto difuso para computar palabras, se requiere de computación intensiva ya que se generarán múltiples puntos determinísticos deben ser computados. Es importante notar que un conjunto difuso no puede ser manejado usando promedios comunes, deben ser manejados utilizando herramientas específicas.

Después de computar soluciones individuales, se obtiene un conjunto de soluciones del problema. Dicho conjunto no es un número único, sino que se compone de un conjunto de múltiples soluciones que contemplan muchas posibilidades, por lo que el analista debe tener en cuenta que el problema tiene muchos posibles escenarios, que implica tener muchísimas posibles decisiones, que dependen de cada caso. El diseño de medidas que nos permitan manejar dicha información es un campo de estudio amplio e interesante. (Ver Mendel [4-6] and Melgarejo [12]). Finalmente, una buena respuesta en términos de palabras es deseable, ya que una respuesta determinística no contiene información interesante en sí misma, que pueda ayudar a la toma de decisiones.

5. APLICACIONES POTENCIALES

La vida diaria nos ofrece una cantidad casi ilimitada de aplicaciones y retos en la computación. Entre ellas encontramos la toma de decisiones, decisiones financieras, problemas de transporte, etc.

Una lista corta de las potenciales aplicaciones que se encuentran a diario en la industria, que involucran directamente el lenguaje y palabras junto a problemas de optimización, se muestra a continuación:

1. Toma de decisiones financieras: incluyendo planeación de multi-presupuestos, valoración de acciones y/o negociación, juegos que implican múltiples actores, etc.
2. Planeación de manufactura: diseño de planta incluyendo múltiples expertos en diferentes áreas, control de inventarios, diseño de producto y proceso, etc.

3. Toma de decisiones multicriterio: Métodos DELPHI que incluyen múltiples percepciones y opiniones, brainstorming, etc.
4. Aplicaciones de Internet: Internet de las cosas, control online, control de dispositivos, procesamiento de voz e imágenes, multi-operaciones (multi-tarea), etc.

Esta lista corta comprime un rango amplio de aplicaciones de CWW que a su vez necesitan ser optimizadas. Así como la computación clásica gana poder, el cálculo de problemas inciertos se convierte en problemas más rápidos de computar, lo cual ayuda a popularizar su buen uso.

¿Qué necesitaremos en el futuro?

Existe una necesidad emergente por el desarrollo de herramientas y teorías nuevas que hagan que CWW sea exitoso. Básicamente, las matemáticas y su computación van de la mano cuando se buscan soluciones a problemas prácticos, por lo que consideramos que los aspectos más importantes a tener en cuenta en el futuro son:

1. Métodos de diseño de conjuntos difusos Tipo-2.
2. Métodos para modelar palabras que incluyan conjuntos difusos, rugosos, ontologías, etc.
3. Métodos de computación más rápidos y eficientes.
4. Desarrollo de la teoría de incertidumbre.
5. Conexión entre aplicaciones de software e implementaciones físicas (microcontroladores).

Aunque esta lista no está completa, hemos intentado cubrir las necesidades más importantes de CWW, y algunos detalles están fuera de nuestro alcance. Cada situación trae sus propios retos, por lo que el analista debe estar atento a aspectos específicos que puedan afectar el comportamiento del sistema, y que a su vez pueden hacer complejo el modelamiento del problema, requiriendo más capacidades de cómputo. Algunas veces no es necesario utilizar desarrollos matemáticos sofisticados, sino hacer cálculos de manera eficiente.

Señalamos que esta propuesta solo abre una puerta a la combinación de diferentes técnicas de optimización con la teoría de conjuntos difusos para resolver problemas de CWW. Recomendamos mucho al lector que enfatice el estudio de la teoría subyacente a los tópicos presentados en este trabajo.

6. CONCLUSIONES

Al inicio del siglo XX, muchos científicos interesados en problemas matemáticos abrieron una puerta para manejar la aleatoriedad en los datos a través de herramientas estadísticas, como un primer acercamiento al modelado de fenómenos naturales. Los primeros trabajos de Zadeh en los 60s abrieron una puerta importante al análisis de incertidumbre diferente a la aleatoriedad probabilística. Jerry Mendel en los 00s desarrolló los conjuntos difusos Tipo-2 como una nueva teoría basada en aspectos lingüísticos y la incertidumbre que viene consigo, la cual a su vez ha abierto una puerta al uso de métodos de optimización en esas condiciones.

El uso de nuevas técnicas de optimización para resolver problemas cotidianos que incluyen otro tipo de fuentes de incertidumbre. La toma de decisiones es una disciplina que está llena de especificidades y no linealidades que requieren atención especial, métodos específicos y modelos que permitan resolver problemas complejos. Específicamente, el manejo del lenguaje natural está presente en muchas situaciones, por lo que vemos que es necesario hacer un buen manejo de dicho lenguaje para fortalecer el proceso de toma de decisiones.

Proponemos entonces una plataforma que permita resolver problemas que incluyan CWW, lo cual implica a su vez resolver problemas lingüísticos y demanda el uso de diferentes técnicas y teorías, y lo más importante, como integrarlas. Así pues, nuestra propuesta permite hacerlo teniendo como objetivo la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre lingüística e imprecisión numérica.

Referencias

- [1] J. Mendel, "Fuzzy sets for Words: a New Beginning" in Conf. Proc. 2003 IEEE Int. Conf. on fuzzy systems, pp. 37-42.
- [2] L.A. Zadeh, "Fuzzy logic = computing with words" IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol 4, 996, pp. 103-111.
- [3] L.A. Zadeh, "From computing with numbers to computing with words - from manipulation of measures to manipulation of perceptions" IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications, vol 4, 1999, pp. 105-119.
- [4] J. Mendel, Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems: Introduction and New Directions. Prentice-Hall, 2001.
- [5] J. Mendel, "The perceptual computer: an architecture for computing with words" in Conf. Proc. 2001 FUZZ-IEEE Int. Conf. on fuzzy systems, 2001.
- [6] J. Mendel, "An architecture for making judgments using computing with words" Int. J. Appl. Math. Comput. Sci., vol 12, 2001, pp 325-335.
- [7] G.J. Klir and B. Yuan, Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications. Prentice-Hall, 1995.
- [8] G.J. Klir and T.A. Folger, Fuzzy Sets, Uncertainty and Information.
- [9] J.C. Figueraeroa and G. Hernández, "A method for solving Linear Programming models with Interval Type-2 fuzzy constraints" Pesquisa Operacional, vol 34, No 1, 2014, pp. 1-17.
- [10] R.E. Bellman and L.A. Zadeh, "Decision-making in a fuzzy environment" Management Science, vol 17, No 1, 1970, pp. 141-164.
- [11] M. Melgarejo, "Implementing Interval Type-2 Fuzzy processors" IEEE Computational Intelligence Magazine, vol 2, No 1, 2007, pp. 63-71.
- [12] M. Melgarejo, "A Fast Recursive Method to compute the Generalized Centroid of an Interval Type-2 Fuzzy Set" In: Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS), 2007, pp. 190-194.