

Aplicación de Algoritmos Genéticos a la Corrección de Matrices Inconsistentes en el Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

Marcelo Karanik, Leonardo S. Wanderer

Grupo de Investigación Sobre Inteligencia Artificial (GISIA)
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Resistencia
French 414, Resistencia (3500) – Chaco. (0362) 4 43 26 83

marcelo@frre.utn.edu.ar, leonardo.wanderer@gmail.com

Resumen

La combinación de diversas técnicas de la inteligencia artificial da lugar a que problemas complejos puedan ser resueltos de formas más eficientes y eficaces desde el punto de vista práctico.

Puede aprovecharse así la utilización de técnicas muy estudiadas y potentes, como los algoritmos genéticos, a la solución de los problemas de consistencia de las matrices que se utilizan en el Proceso Analítico Jerárquico, para reducir su inconsistencia al mismo tiempo que se evita introducir una arbitrariedad ajena a la decisión de un experto en dichas matrices.

La inconsistencia surge producto de la complejidad inherente a la toma de decisiones en donde los factores a considerar cumplen con dos criterios: el criterio objetivo, que determina múltiples y complejas relaciones entre las variables a tener en cuenta; y el criterio subjetivo, vinculado con los conocimientos, capacidades y percepciones de la persona encargada de tomar la decisión.

Palabras clave: Toma de Decisiones, AHP, Juicios Inconsistentes, Comparaciones Faltantes, Algoritmos Genéticos.

Contexto

La presente línea de investigación se desarrolla en el marco del proyecto “*Diseño de Técnicas para el Tratamiento de Situaciones de Incertidumbre en Sistemas de Soporte de Decisiones con Múltiples Expertos*” Código UTN-1315. Dicho proyecto se lleva a cabo en el ámbito del GISIA perteneciente a la Facultad Regional Resistencia de la UTN.

Introducción

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) [1] es una teoría general para determinar prioridades que retorna una escala de proporciones basada en comparación de elementos de un conjunto por pares. Estas comparaciones son realizadas por mediciones reales que se pueden tomar de dichos elementos o a partir de una medida de la preferencia, o valoración subjetiva, utilizando lo que se conoce como la escala fundamental. AHP tiene una amplia aplicación en la toma de decisiones multicriterio [2], planificación y asignación de recursos [3], y en resolución de conflictos [4]. Permite realizar una conclusión o síntesis en base a múltiples factores que se desean considerar haciendo operaciones sobre las comparaciones y valoraciones realizadas.

En el contexto de la toma de decisiones (TD) multicriterio, los problemas planteados se caracterizan por la existencia de uno o más decisores o “expertos”, que ante un conjunto de alternativas y criterios de evaluación para dichas alternativas, se encargan de valorar, por un lado los criterios entre sí, y por otro lado, en base a cada uno de los criterios, a todas las alternativas entre sí. Esta comparación requiere de matrices que se diseñan para la comparación por pares caracterizadas por ser positivas y recíprocas, por lo que el decisor deberá realizar $n \cdot (n-1)/2$ comparaciones para cada una, siendo “n” la dimensión de dicha matriz.

AHP originalmente transforma las comparaciones de un único decisor en un ranking de alternativas. Cuando se debe utilizar el conocimiento de múltiples decisores, se debe añadir en AHP un procedimiento de agregación [5] que combine dicha información.

Una situación que puede darse al comparar elementos de a pares, en una matriz, es que las valoraciones que se realizan hagan que las relaciones de transitividad entre dichos elementos no se cumpla y por lo cual “no tengan sentido” estas relaciones. Por ejemplo, si valoramos a un elemento A como más importante que uno B, y también que B sea más importante que uno C, lógicamente A debe ser bastante más importante que C; pero si el decisor indica que la relación entre C y A no es de esa forma, dada la transitividad, existiría un grado de error o “inconsistencia” en su valoración. Cuando estas relaciones involucran pocos elementos es sencillo identificar la existencia de un error, pero a medida que crecen las matrices de comparación, y debemos valorar más elementos, existen más y más complejas relaciones de transitividad y dicho error deja de hacerse notorio.

He aquí donde se debe destacar un requerimiento de AHP cuyo tratamiento involucra el desarrollo de esta línea de

investigación: la inconsistencia de las matrices del proceso.

Por otro lado, se requiere que todas las matrices estén completas para que puedan calcularse las prioridades, esto implica un problema adicional ya que se exige al decisor realice todas las comparaciones posibles.

Únicamente cuando las matrices están completas y son consistentes puede calcularse el ranking de las alternativas.

Como se mencionó anteriormente, la inconsistencia lógica-matemática puede asociarse a la complejidad de las relaciones y, además, a la “ignorancia” por parte del decisor al momento de presentarse un problema con determinadas características que hacen que no pueda responder o evaluar con seguridad un conjunto de elementos. Existen 3 formas de ignorancia [6] que influyen al momento de comparar los valores en las matrices AHP:

- **incompleto**: falta de establecimiento de un juicio de valor, a causa de una falta de comprensión o por el esfuerzo de ahorrar tiempo que implica proveer una respuesta completa.
- **imprecisión**: incapacidad para brindar un criterio o valoración numérica de forma exacta, es decir, que refleje correctamente la perspectiva del decisor en la comparación.
- **incertidumbre**: asociada a la probabilidad de que los juicios basados en las opciones que el decisor elija son realmente lo que él cree que son.

Consistencia y Completitud

Para satisfacer el criterio de consistencia en AHP, primero debemos poder calcular el ratio de consistencia (CR) de cada matriz [7] y debemos asegurarnos que su valor se encuentre por debajo del valor 0.1, lo que significa que la matriz es suficientemente consistente para obtener un autovector, que

represente adecuadamente la importancia relativa de los elementos comparados. Sólo así puede ser utilizado en el proceso de síntesis y obtención de la mejor alternativa en base al criterio de los expertos. En el caso de tener un valor del ratio de consistencia mayor al máximo mencionado, debemos adoptar un método que lo disminuya y mejore así la consistencia de la matriz, sea automático o manual [8].

Existen varios métodos que corrigen los problemas de inconsistencias en las matrices de AHP. A continuación se exponen 2 de ellos:

El método original de Saaty [7] modifica de forma arbitraria ciertos valores de la matriz, pudiendo alterar la importancia real que el decisor le confirió sin importar si dicha valoración es correcta en base a sus preferencias o fue producto de uno de los tipos de ignorancia nombrados.

Otro método propone la utilización de redes neuronales que realizan cambios globales en la matriz y logran mejoras de la consistencia sin comprometer la importancia en la valoración que el decisor. [9]

Puede observarse que el segundo método es más conveniente por su poca arbitrariedad en el cambio de la decisión del experto, ya que permite que este último sea el responsable de la decisión y no el método en sí mismo.

A partir de ello, se puede definir como objetivo un método que asista al decisor en aquellos casos que produzcan una inconsistencia o corrija los valores de manera que esta sea aceptable, al mismo tiempo que se mantenga su decisión, es decir, en el autovector generado.

Al observar las características del problema, se puede identificar una estructura del modelo de la investigación de operaciones [10], en donde se debe optimizar un criterio objetivo sujeto a un conjunto de restricciones. En este caso, el criterio objetivo debe suponer la

introducción de los menores cambios posibles a la matriz original (minimizando las distancias entre los valores originales y los propuestos), mientras que la restricción es el valor de inconsistencia que se busca, que debe ser menor a 0.1. Alternativamente, en el criterio objetivo también se puede considerar la conservación del orden de importancia de los elementos comparados (el autovector).

Algoritmos Genéticos

Dentro del espectro de las técnicas de la inteligencia artificial existen un conjunto de métodos que se pueden aplicar a estos problemas de optimización, entre lo que se encuentran los algoritmos evolucionarios, y dentro de este grupo, los algoritmos genéticos (AG).

Al intentar completar los valores faltantes y corregir aquellos que provocan inconsistencia, la función que deberá guiar la búsqueda dentro del espacio de soluciones (función heurística) es, en caso de que fuera posible, difícil de determinar. En este tipo de contexto los AG pueden brindar una solución práctica. Otras de las ventajas de los AG que se pueden nombrar son la simplicidad conceptual, amplio grado de aplicabilidad, facilidad para combinarse con otros métodos (por ejemplo para optimizar el rendimiento de redes neuronales, sistemas difusos, sistemas de redes y otras estructuras), procesamiento en paralelo, robusto ante cambios dinámicos del entorno (gracias a que una población solución sirve de punto de partida para posteriores mejoras) y resuelve problemas que no tienen solución o en los que no existe pericia humana suficiente para resolverlo. [11]

Los AG requieren, en primer lugar, definir un esquema de representación del "individuo", siendo esta la estructura de las posibles soluciones al problema. En segundo lugar, la función de aptitud de ese individuo, que permite

valorar y ordenar distintas soluciones, mientras se guía el proceso de búsqueda de la(s) mejor(es) alternativa(s). [11] Aplicándolo al problema en cuestión, la representación del individuo puede ser una estructura de matriz o vector, que se definirá al momento del diseño e implementación del sistema. La función de aptitud deberá definirse considerando el criterio objetivo de la optimización establecido anteriormente.

El proceso evolutivo empieza con la generación de una población inicial, en este caso, un conjunto de matrices o vectores. Esta población tiene la característica de ser aleatoria, pero puede restringirse a ciertas condiciones. Posteriormente, se aplican operadores [12] de selección, cruce y mutación de forma iterativa que produce generaciones de individuos cada vez mejores que reemplazan a los anteriores y cuando alcanza la solución, o algún criterio particular, finaliza.

Líneas de Investigación y Desarrollo

En el proyecto “*Diseño de Técnicas para el Tratamiento de Situaciones de Incertidumbre en Sistemas de Soporte de Decisiones con Múltiples Expertos*” (UTN-1315) se diseñó e implementó un sistema de soporte de decisiones que utiliza IL (Información Lingüística) [13] y AHP. Este sistema permite que múltiples expertos puedan participar conjuntamente en proyectos que ayuden a la toma de decisiones, cuya información se procesa utilizando las técnicas anteriormente mencionadas. Cada uno de los proyectos creados tiene un conjunto de alternativas y un conjunto de criterios que el experto deberá valorar en base a su nivel de experticia. El procesamiento y obtención de la conclusión del sistema puede realizarse para un experto en particular y para todos los expertos que participen en el

proyecto. La información provista por un experto que no se encuentra completa y/o suficientemente consistente es omitida en el procesamiento.

Del proyecto de investigación nombrado surge la línea de investigación relacionada a la utilización de algoritmos genéticos aplicados a la recuperación de valores faltantes y asistencia del usuario al momento de completar las matrices de comparación entre pares.

La propuesta involucra el diseño e implementación de un módulo que se integrará al sistema ya desarrollado. Este deberá facilitar el proceso de carga de la información de alternativas y criterios por parte de los expertos, mediante sugerencias para los valores faltantes y los ingresados, mejorando así el grado de consistencia de dicha información. Las sugerencias serán realizadas mediante el uso de algoritmos genéticos y tomará como entrada del proceso la información ya ingresada por el experto.

Resultados y Objetivos

Dados los requerimientos de AHP y los problemas que surgen en la carga de la información de las matrices, el objetivo general es mejorar la consistencia de las matrices y facilitar ayuda al experto para completar estas matrices.

Para lograr esto se definieron los siguientes objetivos específicos:

- Relevamiento de información.
- Diseño del modelo de AG.
- Diseño del módulo computacional.
- Programación.
- Pruebas del módulo.
- Rediseño de la interfaz de usuario de carga.
- Integración con el sistema de soporte de decisiones.

Formación de Recursos Humanos

Formación de Postgrado

A partir de las líneas de investigación desarrolladas en el proyecto se han logrado finalizar dos tesis doctorales. Los ingenieros Sergio Gramajo y Marcelo Karanik han finalizado sus tesis doctorales del programa de Doctorado en Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad de Málaga (España) en temáticas de TD relacionadas al actual proyecto.

Formación de Becarios

Los becarios Antonio Manuel Gimenez y Leonardo Simón Wanderer son alumnos avanzados de la carrera de ingeniería en sistemas de información que han sido beneficiados con una beca de finalización de carrera y colaboran en las actividades de investigación relacionadas con el proyecto.

Equipo de Trabajo

La estructura del equipo de trabajo es la siguiente:

- Director del Proyecto: Dr. Marcelo Karanik.
- Docente-Investigador: Dr. Sergio Gramajo.
- Alumnos becarios:
 - Antonio Manuel Gimenez.
 - Leonardo Simón Wanderer.

Referencias

1. Saaty, R. W.: The analytic hierarchy process - What it is and how it is used. *Math Modelling*, Vol. 9, No. 3-5, pp. 161-176 (1987).
2. Triantaphyllou, E., Shu, B., Nieto Sanchez, S., Ray, T.: *Multi-Criteria Decision Making: An Operations Research Approach*. *Encyclopedia of Electrical*

and Electronics Engineering, (J.G. Webster, Ed.), John Wiley & Sons, New York, NY, Vol. 15, pp. 175-186, (1998).

3. Russell, S., Norvig, P.: *Inteligencia Artificial: Un enfoque moderno*. Prentice Hall Hispanoamericana S.A., México (1996).
4. Saaty, T. L., Alexander, J.: *Conflict Resolution: The Analytic Hierarchy Process*. Praeger, New York (1989).
5. Gramajo, S., Karanik, M., Pinto, N., Cabrera, D., Alurralde, M.: *Modelo de Apoyo para la Toma de Decisiones en QoS*. CACIC (2011).
6. Ozdemir, M. S., Saaty, T. L.: The unknown in decision making - What to do about it. *European Journal of Operational Research* 174, pp. 349-359 (2006).
7. Saaty, T L.: How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research* 48 pp. 9-26 (1990).
8. Gramajo, S., Karanik, M., Cabrera, D., Alurralde, M., Ojeda, P., Pinto, N.: *Diseño de Técnicas para el Tratamiento de Situaciones de Incertidumbre en Sistemas de Soporte de Decisiones con Múltiples Expertos*. WICC (2012).
9. Gomez-Ruiz, J.A., Karanik, M., Pelaez, J. I.: Estimation of missing judgments in AHP pairwise matrices using a neural network-based model. *Applied Mathematics and Computation*, Elsevier. Vol. 216(10), pp: 2959-2975. (2010).
10. Taha, H. A.: *Investigación de Operaciones*. Pearson Educación, México (2004).
11. Sivanandam, S. N., Deepa, S. N.: *Introduction to Genetic Algorithms*. Springer, Heidelberg (2008).
12. García Martínez, R., Servente, M., Pasquini, D.: *Sistemas Inteligentes*. Nueva Librería SRL (2003).
13. Gramajo, S., Martínez, L.: A linguistic decision support model for QoS priorities in networking. *Knowledge-Based Systems, New Trends on Intelligent Decision Support Systems* 32(0): pp. 65-75 (2012).