

Métodos para la construcción de Mapas Cognitivos Difusos y sus aplicaciones

Autoría principal

Gonzalo Nápoles Ruiz¹, Maikel León Espinosa¹.

Otros autores

Rafael Bello Pérez¹, Koen Vanhoof², Isel Grau García¹, María M. García Lorenzo¹, Lusine Mkrtchyan², Benoît Depaire², Da Ruan², Ricardo Grau Abalo¹.

Colaboradores

Rodríguez León, Ricardo Pérez García, Marilyn Bello García.

Entidad ejecutora principal

¹Centro de Estudios de Informática, Facultad de Matemática, Física y Computación. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba.

Entidades participantes

²Faculty of Business Economics, Hasselt University, Belgium.

Autor para correspondencia

Gonzalo Nápoles Ruiz

Dirección postal: Calle 6ta #417 esq. 11na, Reparto Universitario, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. Código Postal: 54830.

E-mail: gnapoles@uclv.edu.cu

Teléfono: +53 42 281515

Aporte científico de cada autor al resultado

- ✓ **Gonzalo Nápoles Ruiz** (20%): Implementación del Ingeniero del conocimiento automatizado y de la herramienta FCM Tool. Diseño de los siguientes algoritmos: Método para generar la población inicial en el aprendizaje poblacional; Método de aprendizaje para ajustar los pesos causales (usando el operador RSVN); Método para reducir la topología en FCM; Método para mejorar las propiedades de estabilidad en FCM Sigmoidales. Diseño e implementación de las Redes Cognitivas Aproximadas (*Rough Cognitive Networks*, RCN). Modelación del mecanismo de resistencia de las proteínas del VIH-1 usando la teoría de FCM.
- ✓ **Maikel León Espinosa** (20%): Diseño de los siguientes algoritmos y métodos: Ingeniero del Conocimiento Automatizado; Método para generar la población inicial en el aprendizaje poblacional; Estrategia para agregar múltiples FCM; Medida de distancia para agrupar FCM y modificación a la medida *Davies-Bouldin*. Diseño e implementación de los Mapas Cognitivos Difusos con Conceptos Aproximados (*Fuzzy Cognitive Maps with Rough Concepts*, RFCM). Modelación del Comportamiento de Viajes en la ciudad Hasselt, Bélgica usando la teoría de FCM.
- ✓ **Rafael Bello Pérez** (10%): Participó en todas las líneas de investigación como coordinador científico, aportando ideas e indicaciones para el desarrollo de la misma; así como para las publicaciones.

- ✓ **Koen Vanhoof** (10%): Participó en todas las líneas de investigación como coordinador científico, aportando ideas e indicaciones para el desarrollo de la misma; así como para las publicaciones.
- ✓ **Isel Grau García** (10%): Participó en las siguientes líneas de trabajo: Método de aprendizaje para ajustar los pesos causales (usando el operador RSVN); Método para reducir la topología en FCM; Modelación del mecanismo de resistencia de las proteínas del VIH-1 usando la teoría de FCM; Evaluación de la capacidad de predicción de los FCM y generación de mutaciones artificiales.
- ✓ **María García Lorenzo** (8%): Asesoramiento en las siguientes líneas de trabajo: Adquisición de conocimiento en la aplicación de los FCM a situaciones de comportamiento de viajes; Evaluación de la capacidad de predicción de los FCM.
- ✓ **Lusine Mkrtchyan** (6%): Participó en las siguientes líneas de trabajo: Estrategia para agregar múltiples FCM; Medida de distancia para agrupar FCM y modificación a la medida *Davies-Bouldin*.
- ✓ **Benoît Depaire** (6%): Aplicación y evaluación de los métodos en el desarrollo del sistema inteligente para la gestión del transporte.
- ✓ **Da Ruan** (5%): Asesoramiento para la evaluación de los métodos en el desarrollo del sistema inteligente para la gestión del transporte en la ciudad de Hasselt.
- ✓ **Ricardo Grau Abalo** (5%): Asesoramiento en la modelación del mecanismo de resistencia de las proteínas del VIH-1 usando FCM.

Resumen

El desarrollo acelerado de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones y su introducción en los procesos socio-económico, científicos y de la vida diaria han llevado al desarrollo de los sistemas de ayuda a la decisión, para incrementar la eficacia y eficiencia en los procesos de toma de decisiones. Se han desarrollado diferentes modelos de ayuda a la toma de decisiones, siendo uno de ellos los Mapas Cognitivos Difusos (FCM, por sus siglas en inglés). La construcción de un FCM para un problema en particular implica ejecutar un proceso de ingeniería de conocimiento donde se determinan los conceptos que intervienen en el problema, sus relaciones causales y la importancia de estas; lo cual es un proceso complejo, y de la calidad del mapa construido dependerá la calidad de las soluciones obtenidas.

Los resultados que se presentan en esta propuesta han sido alcanzados en el contexto de las investigaciones realizadas para desarrollar métodos que ayuden en el diseño de los FCM, de modo que los mapas resultantes sean más eficaces en la solución de los problemas. Se han creado métodos para: optimizar el diseño de los mapas, los cuales permiten optimizar la cantidad de nodos del mapa y el valor de las relaciones causales entre los nodos; construir mapas a partir de la agregación de múltiples fuentes, lo cual permite considerar en la ingeniería de conocimiento diferentes fuentes de información, incluyendo el agrupamiento de mapas similares; y analizar que la topología del mapa construido garantice su estabilidad, lo cual es requisito para que el mapa sea eficaz. Los métodos propuestos permiten desarrollar íntegramente el proceso de diseño e implementación de un FCM: diseño y optimización de uno o varios mapas, agrupamiento de los mismos, agregación en una única estructura y análisis de la

estabilidad. Se han resuelto problemas complejos no estructurados con los métodos desarrollados, entre ellos la implementación de un sistema inteligente para la planificación del transporte público y otro relacionado con el estudio del VIH.

La producción científica principal que respalda la propuesta incluye 21 publicaciones referenciadas en bases de datos internacionales, más otros 11 trabajos publicados. Además, se incluyen 11 ponencias en eventos científicos reconocidos internacionales. Por otra parte, se reporta 1 tesis de doctorado y 2 tesis de maestrías, un Premio Internacional y 2 registros de software CENDA. De forma general estos resultados muestran el valor científico y práctico de la propuesta que se presenta.

Comunicación Corta

Resumen

El desarrollo acelerado de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones y su inserción en los procesos socio-económicos y científicos han propiciado el desarrollo de los sistemas de ayuda a la toma de decisiones. Se han desarrollado varios modelos artificiales, siendo uno de ellos los Mapas Cognitivos Difusos (FCM, por sus siglas en inglés). La construcción de un FCM involucra los siguientes pasos:

- Adquisición del conocimiento a partir de expertos o datos históricos.
- Estimación de las relaciones de causalidad entre las variables del sistema.
- Ajuste de los parámetros que garantizan la exactitud del modelo.

Estos pasos involucran tareas complejas para un ser humano (incluso para usuarios expertos) que definirán la calidad de las soluciones. Los resultados que se presentan en esta propuesta son parte de las investigaciones realizadas para desarrollar métodos que ayuden en el diseño de los FCM. Concretamente, se han desarrollado algoritmos para estimar la dirección e intensidad de las relaciones causales que definen la relación entre los conceptos del sistema, para optimizar la topología del mapa, para mejorar las propiedades de estabilidad de los FCM Sigmoidales (lo cual es requisito indispensable para que sea eficaz), para agrupar mapas que tengan características similares y para combinar el conocimiento de múltiples fuentes de información. Incluso se ha propuesto un nuevo modelo que combina las potencialidades de los FCM, con la capacidad de la Teoría de Conjuntos Aproximados para tratar patrones inconsistentes.

Los métodos que se discuten en la propuesta facilitan el proceso de implementación de un FCM, y pueden ser aplicados en diferentes dominios. Asimismo, algunos de los métodos (ej. análisis de estabilidad) constituyen soluciones a problemas muy complejos de solucionar usando enfoques tradicionales. Con los procedimientos desarrollados se han resuelto problemas no estructurados, entre ellos la implementación de un sistema inteligente para la ayuda en la planificación del transporte público y otro referente a la modelación del mecanismo de resistencia de las proteínas de VIH.

1. Introducción

Las tareas de toma de decisiones aparecen continuamente en diferentes momentos de la actividad humana (ej. socio-económica, científica, personal). Para ser más efectivos

en estos procesos es imprescindible utilizar la información y el conocimiento apropiado y los métodos que faciliten el uso eficiente y eficaz de ambos.

El desarrollo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones ha propiciado que estas herramientas tengan un rol relevante en los procesos de decisiones, dando lugar a los sistemas de ayuda a la decisión. Se han desarrollado diferentes modelos de ayuda a la toma de decisiones, siendo uno de ellos los Mapas Cognitivos Difusos.

Los FCM se componen de dos elementos principales: los conceptos y los enlaces entre dichos nodos. Los primeros denotan características del sistema modelado (ej. eventos, acciones, objetivos), mientras que las relaciones causales describen el comportamiento del sistema. Una relación causal tiene asociado un signo (dirección de la causalidad) y un peso (intensidad de la causalidad). Durante la inferencia los conceptos de entrada se estimulan y luego se actualiza la activación de las demás neuronas. Esto involucra un modelo matemático, que adicionalmente incluye los pesos causales y una función para acotar el grado activación de cada neurona. Normalmente esta función de umbrales continua, aunque la salida se puede convertir en un valor discreto.

Para la construcción de un FCM se realiza un proceso de ingeniería del conocimiento para extraer el conocimiento del dominio, teniendo como fuentes de conocimiento los expertos del dominio, datos históricos, etc. Durante el trabajo con múltiples fuentes de conocimiento se pueden generar múltiples modelos, y por tanto se requiere un método para agrupar y combinar los mapas. Sin embargo, la estimación de los parámetros que definen el comportamiento del mapa (ej. pesos causales) es un proceso muy complejo, incluso para usuarios experimentados, lo que propiciado el desarrollo de métodos para estimar estos parámetros. Aunque es posible que el mapa muestre un comportamiento cíclico o caótico. Por otra parte, los mapas asociados a sistemas complejos pueden ser complicados de interpretar, debido al número de variables y conexiones.

El aporte científico de esta propuesta consiste en desarrollar algoritmos para apoyar la construcción de modelos basados en FCM, que faciliten el trabajo de los ingenieros de conocimiento, permitiendo de esta forma la construcción de mapas más eficaces de una manera más eficiente. Estos métodos conforman un marco de trabajo para el diseño, simulación y explotación de FCM. Su desempeño y aplicabilidad se respalda a través de dos casos de estudio reales. El primero se refiere al desarrollo de un sistema inteligente para la planeación del transporte público en la ciudad de Hasselt en Bélgica. El segundo aborda la modelación de la resistencia antiviral en proteínas del VIH, el cual permite predecir la resistencia antiviral de nuevas mutaciones.

2. Estimación de las relaciones causales

La complejidad inherente al desarrollo de los modelos basados en FCM ha llevado al desarrollo de algoritmos para automatizar en alguna medida su construcción mediante procesos de aprendizaje. En estos algoritmos se utilizan principalmente datos históricos del dominio, aunque el experto puede intervenir. Uno de los parámetros más complejos de estimar por su incidencia en la exactitud del mapa son las relaciones de causalidad. Concretamente el problema de aprendizaje consiste en encontrar una matriz de pesos que minimice una función de error usando una búsqueda heurística, es decir, se busca

el FCM que minimiza las diferencias entre las respuestas esperadas por los expertos y la inferencia calculada por el mapa. Sin embargo, es conocido que las metaheurísticas tienden a converger a óptimos locales, afectando el rendimiento del mapa.

En esta propuesta se describen dos métodos para aliviar este problema. El primero es un procedimiento para generar la población inicial cuando se conoce una aproximación de las relaciones de causalidad, mientras que el segundo es un operador para mejorar la diversidad en la población cuando se detectan estados potenciales de convergencia prematura o estancamiento. El operador se incorporó a la metaheurística Optimización de Bandadas de Partículas(PSO, por sus siglas en inglés) resultando un método capaz de generar matrices de pesos causales con mayor calidad. Ambos resultados aparecen publicados en [Leo11], [Leo11b], [Nap13], [Gra14] y [Nap14].

3. Optimización de la topología

Una de las características deseables de los FCM es la posibilidad de interpretación del sistema modelado (y sus soluciones) a partir de relaciones de causalidad. Sin embargo, en sistemas que involucran muchas neuronas (ej. mapas construidos automáticamente a partir de datos almacenados) la interpretabilidad del sistema es relativa pues existe el conocimiento, pero resulta muy engorroso su análisis. La propuesta incluye un método para optimizar la topología del mapa, o sea, el número de conceptos que intervienen en el modelo. El problema de aprendizaje consiste en encontrar un subconjunto mínimo de conceptos y que no induzca errores de exactitud adicionales.

Para esto se requiere que los mapas a optimizar tengan un rendimiento adecuado (ej. mapas que resultan de los algoritmos de la sección anterior). Al final se obtienen FCM más simples que preservan su capacidad para predecir nuevos patrones. Es importante resaltar que no se conoce de métodos similares para FCM, sobre todo considerando el enfoque heurístico adoptado, que permite estimar soluciones próximas al óptimo global, en un tiempo de ejecución razonable. Los detalles sobre el algoritmo están publicados en [Nap13] y [Nap14] para los dos casos de estudio enunciados.

4. Análisis de la convergencia

Los FCM son redes recurrentes que deben converger a un estado de equilibrio durante el proceso de inferencia. Se ha demostrado que los FCM discretos (aquellos que usan una función de transformación discreta) a lo sumo serán cíclicos, pero esta premisa no se puede asegurar para los FCM Sigmoidales, donde además se observan situaciones caóticas. La primera contribución consiste en explicar por qué los principales métodos analíticos que garantizan la existencia y unicidad del punto fijo en FCM Sigmoidales no son aplicables en mapas utilizados en clasificación de patrones.

Conjuntamente, se introduce una nueva metodología de aprendizaje heurístico (basada en Inteligencia Colectiva) para mejorar las propiedades de convergencia de los mapas sigmoidales. En este caso el algoritmo estima una función de transformación sigmoideal adecuada para cada neurona, en lugar de usar una función sigmoideal única para todos los conceptos. El algoritmo permite estabilizar (o al menos reducir la variabilidad en las respuestas) los mapas utilizados en problemas de toma de decisiones, sin modificar las relaciones causales entre los conceptos. Hasta el momento, y basados en los artículos

de revisión más recientes, no se conoce un enfoque similar para lidiar con el problema de la inestabilidad en FCM Sigmoidales. Los resultados de esta investigación aparecen publicados en [Nap13b] y [Nap14b] para el segundo problema de aplicación.

5. Agrupamiento y agregación

En la construcción de un FCM usualmente existen diferentes fuentes de conocimiento, por ejemplo, pueden existir múltiples expertos del dominio a partir de los cuales extraer el conocimiento necesario para resolver el problema. En este caso resulta conveniente agrupar los mapas similares, lo cual permite detectar las tendencias en la población de expertos encuestados. La primera propuesta consiste en una función de distancia para FCM que se basa en las diferencias en el contenido: existencia o no de un concepto; existencia o no de relaciones causales entre dos conceptos; importancia (peso) de las relaciones causales. Además se presentó un método para determinar el número óptimo de clústeres, que incorpora el concepto de *mapa central* como parte de la modificación al índice *Davies-Bouldin* (medida para validar el agrupamiento). Por último, se presentó una estrategia para combinar múltiples mapas en una única estructura, la cual consiste en asignar un *peso de credibilidad* a cada mapa individual. Esta solución se distingue de las anteriores en que tiene en cuenta la simulación de los mapas, lo que le permite considerar propiedades dinámicas que no habían sido investigadas. Estos resultados aparecen entre otras publicaciones en [Leo13c] y [Leo13d].

6. Inclusión del enfoque aproximado

Como se ha explicado los conceptos de los FCM se activan mediante valores dados para resolver un problema concreto. La propuesta describe un modelo llamado FCM con Conceptos Aproximados (RFCM, por sus siglas inglés) donde los nodos se activan mediante un par de valores denominados aproximación inferior y superior, surgiendo el término de conceptos aproximados (*rough concepts*). Este enfoque permite una mayor tolerancia y flexibilidad en dominios donde sea relevante la certidumbre asociada a los valores de entrada y las salidas. Además, se presenta un segundo modelo híbrido para solucionar problemas de toma de decisiones, donde un concepto del mapa denota una Región Positiva, Negativa o Frontera. Cada una de estas regiones se activa de acuerdo a los principios de la Teoría de Conjuntos Aproximados, y luego se activa el mecanismo de inferencia, lo que permite ordenar las decisiones de acuerdo a su utilidad. La ventaja del modelo radica en su simplicidad, pues el número de nodos depende del número de decisiones. Estos resultados aparecen en [Leo13b] y en [Nap14c].

7. Conclusiones

Los resultados alcanzados en esta investigación facilitan el diseño e implementación de los FCM en sus diferentes etapas. En resumen, los algoritmos permiten la optimización de los parámetros que caracterizan el sistema, el agrupamiento y unificación de varias fuentes de información en una estructura cognitiva, el análisis de estabilidad del mapa y sus soluciones, y el manejo de la incertidumbre. Para validar los métodos se utilizaron dos problemas. El primero concerniente al desarrollo de un sistema inteligente para la planeación del transporte en la ciudad de Hasselt, Bélgica [Leo12], [Leo12b], [Mkr12], [Leo13], [Leo13b], [Leo13c], [Leo13d]. El segundo problema aborda la modelación de

los mecanismos de resistencia del VIH-1 a los fármacos existentes [Gra12], [Nap13c], [Gra13], [Nap14], y [Gra14]. Por otra parte, durante la evaluación de los algoritmos se utilizaron pruebas estadísticas y la comparación con otros enfoques computacionales, demostrando las bondades de los procedimientos desarrollados.

Publicaciones

2014

[Nap14] Gonzalo Nápoles, Isel Grau, Rafael Bello, Ricardo Grau. Two-steps learning of Fuzzy Cognitive Maps for prediction and knowledge discovery on the HIV-1 drug resistance. *Expert Systems with Applications*, vol. 41, pp. 821–830, 2014.

[Gra14] Isel Grau, Gonzalo Nápoles. Mutating HIV Protease Protein Using Ant Colony Optimization and Fuzzy Cognitive Maps: Drug Susceptibility Analysis. *Computación y Sistemas*, vol. 18, no. 1, pp. 51–63, 2014.

[Nap14b] Gonzalo Nápoles, Rafael Bello, Koen Vanhoof. How to improve the convergence on Sigmoid Fuzzy Cognitive Maps? *Intelligent Data Analysis*, 2014 (actualmente en impresión).

[Nap14c] Gonzalo Nápoles, Isel Grau, Rafael Bello, Koen Vanhoof. Hybrid Model Based on Rough Sets Theory and Fuzzy Cognitive Maps for Decision-Making. *Lectures Notes in Artificial Intelligence*, vol. 8537, pp. 169–178, 2014.

[Nap14d] Gonzalo Nápoles, Isel Grau, Marylin, Bello, Rafael Bello. Towards Swarm Diversity: Random Sampling in Variable Neighborhoods Procedure Using a Lévy Distribution. *Computación y Sistemas*, vol. 18, no. 1, pp. 79–95, 2014.

2013

[Leo13] Maikel León, Gonzalo Nápoles, Rafael Bello, Lusine Mkrtchyan, Benoît Depaire, Koen Vanhoof. Tackling Travel Behaviour: An approach based on Fuzzy Cognitive Maps. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, vol. 6, no. 6, pp. 1012–1039, 2013.

[Leo13b] Maikel León, Benoît Depaire, Koen Vanhoof. Fuzzy Cognitive Maps with Rough Concepts. *Memorias de: Artificial Intelligence Applications and Innovations (AIAI)*. Harris Papadopoulos, Andreas Andreou, Lazaros Iliadis, Ilias Maglogiannis (Eds), pp. 527–536, 2013. ISBN 978-3-642-41141-0.

[Leo13c] Maikel León, Lusine Mkrtchyan, Benoît Depaire, Da Ruan, Koen Vanhoof. A Travel Behaviour Study Through Learning and Clustering of Fuzzy Cognitive Maps. *Memorias de: Decision Aid Models for Disaster Management and Emergencies*. Begonna Vitoriano, Javier Montero, Da Ruan (Eds), pp. 259–293, 2013. ISBN: 978-94-91216-73-2 (print), 978-94-91216-74-9 (Online).

[Leo13d] Maikel León, Lusine Mkrtchyan, Benoît Depaire, Da Ruan, Koen Vanhoof. Learning and clustering of fuzzy cognitive maps for travel behaviour analysis. *Knowledge and Information Systems*, vol. 39, no. 2, pp. 435–462, 2013.

[Nap13] Gonzalo Nápoles, Isel Grau, Ricardo Pérez-García, Rafael Bello. Learning of Fuzzy Cognitive Maps for simulation and knowledge discovery. *Advances in Intelligent Systems Research*, vol. 51, pp. 27–36, 2013. ISSN 1951-6851.

[Nap13b] Gonzalo Nápoles, Rafael Bello, Koen Vanhoof. Learning Stability Features on Sigmoid Fuzzy Cognitive Maps through a Swarm Intelligence Approach. *Lectures Notes in Computer Sciences*, vol. 8258, pp. 270–277, 2013.

[Gra13] Isel Grau, Gonzalo Nápoles, María M. García. Predicting HIV-1 Protease and Reverse Transcriptase Drug Resistance Using Fuzzy Cognitive Maps. *Lectures Notes in Computer Sciences*, vol. 8259, pp. 190–197, 2013.

[Nap13c] Gonzalo Nápoles, Isel Grau, Maikel León, Ricardo Grau. Modelling, aggregation and simulation of a Dynamic Biological System through Fuzzy Cognitive Maps. *Lectures Notes in Artificial Intelligence*, vol. 7630, pp. 188–199, 2013.

2012

[Mkr12] Lusine Mkrtyan, Maikel León, Benoît Depaire, Da Ruan, Koen Vanhoof. Clustering of Fuzzy Cognitive Maps for Travel Behavior Analysis. *Advances in Intelligent and Soft-Computing series*, vol. 171, pp. 57–66, 2012. ISBN: 978-3-642-30864-2.

[Leo12b] Maikel León, Lusine Mkrtyan, Benoît Depaire, Da Ruan, Rafael Bello, Koen Vanhoof. Learning Method Inspired on Swarm Intelligence for Fuzzy Cognitive Maps: Travel Behaviour Modelling. *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 7552, pp. 718–725, 2012.

[Gra12] Isel Grau, Gonzalo Nápoles, Maikel León, Ricardo Grau. Fuzzy Cognitive Maps for Modelling, Predicting and Interpreting HIV Drug Resistance. *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, vol. 7637, pp. 31–40, 2012.

2011

[Leo11] Maikel León, Gonzalo Nápoles, Ciro Rodríguez, María M. García, Rafael Bello, Koen Vanhoof. A Fuzzy Cognitive Maps Modeling, Learning and Simulation Framework for studying Complex System. *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 6687, pp. 243–256, 2011.

[Leo11b] Maikel León, Gonzalo Nápoles, María M. García, Rafael Bello, Koen Vanhoof. Two steps Individuals Travel Behavior Modeling through Fuzzy Cognitive Maps Pre-definition and Learning. *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, vol. 7095, pp. 82–94, 2011.

2010

[Leo10] Maikel León, Ciro Rodríguez, María M. García, Rafael Bello, Koen Vanhoof. Fuzzy Cognitive Maps for modeling Complex Systems. *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, vol. 6437, pp. 166–174, 2010.

2009

[Leo09] Maikel León, Rafael Bello, Koen Vanhoof. Considering Artificial Intelligence Techniques to perform Adaptable Knowledge Structures. *World Scientific Proceedings Series on Computer*

Engineering and Information Science. Intelligent Decision Making Systems, vol. 2, pp 88–93, 2009.

[Leo09b] Maikel León, Rafael Bello, Koen Vanhoof. Cognitive Maps in Transport Behavior. Memorias de: Mexican International Conference on Artificial Intelligence, pp. 179–184, 2009.

OTRAS PUBLICACIONES RELACIONADAS CON LOS RESULTADOS DEL PREMIO

2012

Gonzalo Nápoles, Maikel León, María M. García, Rafael Bello. Comparación en la efectividad de clasificación de los Mapas Cognitivos Difusos frente a otras técnicas clásicas de la Inteligencia Artificial. Memorias de: VI Taller de Inteligencia Artificial, UCIENCIA Conferencia Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas, 2012.

Maikel León, Gonzalo Nápoles, María M. García, Rafael Bello, Koen Vanhoof. Método para el aprendizaje de Mapas Cognitivos Difusos inspirado en Optimización basada en Partículas. Memorias de: VI Taller de Inteligencia Artificial, UCIENCIA Conferencia Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas, 2012.

Gonzalo Nápoles, Isel Grau, Rafael Bello. Constricted Particle Swarm Optimization based Algorithm for Global Optimization. POLIBITS Research Journal on Computer Science and Computer Engineering with Applications, no. 46, pp. 5–11, 2012.

Gonzalo Nápoles, Isel Grau, Rafael Bello. Algoritmo basado en Nubes de Partículas para la optimización global de funciones en espacios multidimensionales complejos. Revista Cubana de Ciencias Informáticas, vol. 5, no.3, pp. 1–8, 2012.

2011

Maikel León, Gonzalo Nápoles, María M. García, Rafael Bello, Koen Vanhoof. Mapas Cognitivos Difusos aplicados a un problema de Comportamiento de Viajes. Memorias de: III Taller Internacional de Descubrimiento de Conocimiento, Gestión del Conocimiento y Toma de Decisiones, Eureka Iberoamérica, 2011.

Maikel León, Gonzalo Nápoles, María M. García, Rafael Bello, Koen Vanhoof. Aprendizaje inspirado en Optimización basada en Partículas de Mapas Cognitivos Difusos. Memorias de: COMPUMAT 2011, Congreso de la Sociedad Cubana de Matemática y Computación, 2011.

Gonzalo Nápoles, Maikel León, María M. García, Rafael Bello, Koen Vanhoof. Ingeniería del Conocimiento Automatizada en la adquisición y formalización de representaciones mentales sobre Comportamiento de Viajes. Memorias de: COMPUMAT 2011, Congreso de la Sociedad Cubana de Matemática y Computación, 2011.

Gonzalo Nápoles, Maikel León. Adquisición automática de conocimiento y aprendizaje basado en inteligencia colectiva para mapas cognitivos difusos aplicados a un problema de comportamiento de viajes. Monografía, Editorial Feijó, Cuba, 2011. ISBN: 978-959-250-745-6.

2010

Maikel León, Gonzalo Nápoles, María M. García, Rafael Bello, Koen Vanhoof. Cognitive Mapping and Knowledge Engineering in Travel Behavior Sciences. Memorias de: CEDI Congreso Español de Informática, SICO Simposio de Inteligencia Computacional, Capítulo Español de la IEEE Computational Intelligence Society, 2010. ISBN: 978-84-92812-62-2.

Maikel León, Gonzalo Nápoles, María M. García, Rafael Bello, Koen Vanhoof. A Revision and Experience using Cognitive Mapping and Knowledge Engineering in Travel Behavior Sciences. POLIBITS Research Journal on Computer Science and Computer Engineering with Applications, no. 52, pp. 43–49, 2010. ISSN: 1870-9044.

2009

Maikel León, Rafael Bello, Koen Vanhoof. Mapas mentales y cognitivos difusos para problemas relacionados con decisiones de transporte. Memorias de: II Taller de Descubrimiento de Conocimiento, Gestión del Conocimiento y Toma de Decisiones, Eureka Iberoamérica, 2009. ISBN: 978-959-261-304-1.