

NUEVO ENFOQUE PARA LA SINCRONIZACIÓN DE PROCESOS EN SISTEMAS DISTRIBUIDOS

David L. la Red Martínez^{a*}, Julio C. Acosta^a, Stella M. Gerzel^a, Alice R. Rambo^b

^a UNNE - FaCENA / Departamento de Informática, Corrientes, (3400)

^b UNaM - FCEQyN / Departamento de Informática, Posadas, (3300)

*Autor a quien dirigir la correspondencia: laredmartinez@gigared.com

Subrayar el nombre del autor que presentará el trabajo.

Resumen

En los sistemas de procesamiento distribuido es frecuentemente necesario que los procesos que actúan en grupos deban tomar decisiones basados en acuerdos; dichos procesos podrán operar en equipos distribuidos; los procesos podrán requerir el uso de recursos compartidos en la modalidad de exclusión mutua. Surge el siguiente interrogante: ¿cuáles son los modelos de decisión que habrá que generar incorporando la perspectiva cognitiva a los modelos clásicos, que trasciendan el enfoque tradicional de las ciencias de la computación? (se consideran modelos clásicos para acceder a estructuras de datos compartidas en la modalidad de exclusión mutua utilizando regiones críticas de memoria, al algoritmo centralizado, al algoritmo distribuido de Lamport mejorado por Ricart y Agrawala, al algoritmo de anillo de fichas, entre otros). Habrán de tenerse en cuenta los mecanismos de auto-regulación, autonomía, circularidad referencial, etc., y estudiar la manera de incorporar los mismos mediante variables y procedimientos que se agreguen a las variables y procedimientos clásicos de las ciencias de la computación, generando así nuevos modelos que mejoren el desempeño de los clásicos. Habrá que considerar diferentes situaciones relacionadas con el hecho de compartir o no recursos y con el nivel de acuerdo o consenso requerido, que podrá ser estricto o no. Los modelos para la toma de decisiones en grupos de procesos considerarán la posibilidad de imputación de datos faltantes y la fuzzyficación de ciertas variables, utilizando la familia de operadores OWA, generando operadores de agregación específicos para cada uno de los tipos de situaciones consideradas.

Palabras clave: sistemas operativos; regiones críticas; exclusión mutua; comunicación entre grupos de procesos; operadores de agregación

Introducción

La proliferación de sistemas informáticos, muchos de ellos distribuidos, en los cuales existen múltiples procesos que cooperan para el logro de una determinada función, hace necesario disponer de modelos de decisión que permitan a los procesos intervinientes en los distintos grupos de procesos, tomar decisiones en las que son necesarios diferentes niveles de acuerdo, especialmente cuando se trata del acceso a recursos computacionales compartidos y el sistema debe auto-regular la forma de dicha compartición.

Es especialmente significativo el caso del acceso a las llamadas regiones críticas de memoria por parte de distintos procesos, que pueden estar operando en el mismo equipo informático o en equipos distribuidos, donde el acceso a las regiones críticas debe hacerse en la modalidad de acceso exclusivo y con el consentimiento de los demás procesos del grupo.

Ejemplos de lo mencionado se encuentran en (Tanenbaum, 1996 y 2009), donde se describen los principales algoritmos de sincronización en sistemas distribuidos, en (Agrawal et al., 1991), donde se presenta una solución eficiente y tolerante a fallas para el problema de la exclusión mutua distribuida, en (Ricart et al., 1981) y en (Cao y Singhal, 2001), donde se presentan unos algoritmos para gestionar la exclusión mutua en redes de computadoras, en (Stallings, 2005), donde se detallan los principales algoritmos para la gestión distribuida de procesos, los estados globales distribuidos y la exclusión mutua distribuida.

Los modelos de decisión actualmente disponibles y generalmente aplicables en los sistemas distribuidos se basan en algoritmos de intercambio de permisos que intentan lograr un acuerdo de todos los procesos intervinientes para realizar determinadas acciones, como el acceso a un área de memoria compartida a la que se debe acceder en la modalidad de exclusión mutua.

Se considera especialmente importante estudiar la aplicación de modelos de decisión para la toma de decisiones en grupo que incorporen conceptos cognitivos de la cibernética en general y de la cibernética de segundo orden en particular, en el contexto de sistemas complejos auto-regulados.

Se estima de gran importancia estudiar los mecanismos de auto-regulación de los sistemas auto-regulados existentes en la bibliografía especializada, especialmente de los sistemas complejos, en

el contexto de la cibernética de segundo orden, a los efectos de su posterior incorporación en el desarrollo de modelos de decisión aplicables a procesos distribuidos que deben tomar decisiones en grupo respecto del uso de recursos compartidos. Se considera en tal sentido que dichos grupos de procesos mejorarían su desempeño mediante los modelos de decisión que se tiene previsto desarrollar incorporando mecanismos de auto-regulación y conceptos de la cibernética de segundo orden en el proceso de toma de decisiones¹.

En los sistemas computacionales de procesamiento distribuido es frecuentemente necesario que los procesos que actúan en grupos deban tomar decisiones basados en el acuerdo; dichos procesos podrán operar en un mismo equipo informático o en varios equipos distribuidos interconectados; las decisiones para las cuales deben alcanzar algún nivel de acuerdo pueden estar relacionadas con la realización de determinada actividad que no requiera el uso de recursos compartidos en la modalidad de exclusión mutua, o con la realización de determinada actividad que sí requiera el uso de recursos compartidos en la modalidad de exclusión mutua, para lo cual generalmente las exigencias de niveles de acuerdo son mayores que para el caso anterior.

Ante la situación mencionada precedentemente surge el siguiente interrogante: ¿cuáles son los nuevos modelos de decisión que habrá que desarrollar incorporando la perspectiva cognitiva a los modelos clásicos para la toma de decisiones en grupos de procesos, que trasciendan el enfoque tradicional de las ciencias de la computación?.

Habrá que desarrollar nuevos modelos de decisión para los siguientes tipos de situaciones: a) cuando no se compromete el uso de recursos compartidos y las exigencias de acuerdo no son estrictas; b) cuando no se compromete el uso de recursos compartidos y las exigencias de acuerdo son estrictas; c) cuando se compromete el uso de recursos compartidos y las exigencias de acuerdo no son estrictas; d) cuando se compromete el uso de recursos compartidos y las exigencias de acuerdo son estrictas?.

Materiales y Métodos

El objetivo general es generar modelos de decisión desde la óptica cognitiva para la toma de decisiones en grupos de procesos, que trasciendan el enfoque tradicional de las ciencias de la computación, basándose en los principios de la cibernética de segundo orden, los sistemas complejos y la auto-regulación.

Los principios de la cibernética de segundo orden, los sistemas complejos y la auto-regulación, posibilitan desarrollar modelos de decisión desde la óptica cognitiva para la toma de decisiones en grupos de procesos, que trasciendan el enfoque tradicional de las ciencias de la computación considerando la posibilidad de imputación de datos faltantes y la fuzzyficación de ciertas variables, utilizando la familia de operadores OWA, generando operadores específicos para cada una de las situaciones antes indicadas.

La investigación que se realizará será de tipo teórica en la etapa de desarrollo de los modelos de decisión. Una vez definidos teóricamente los modelos de decisión antes mencionados, se procederá a la validación de los mismos comparando sus resultados con los modelos de las ciencias de la computación habitualmente utilizados en los sistemas operativos. Como consecuencia del análisis de los datos obtenidos, podría ser necesario modificar los modelos de decisión propuestos, lo cual daría inicio a un nuevo ciclo de validaciones.

El sistema de matrices de datos que se utilizará contemplará las siguientes premisas y estructuras de datos. Se trata de grupos de procesos distribuidos en nodos de procesos que acceden a recursos críticos compartidos en la modalidad de exclusión mutua distribuida, debiendo decidirse, ante la demanda de recursos por parte de los procesos, cuáles serán las prioridades para asignar los recursos a los procesos que los requieren (sólo intervendrán como alternativas de asignación a los procesos aquellos recursos disponibles, es decir, no asignados ya a determinados procesos): a) el permiso de acceso a los recursos compartidos propios de un nodo no dependerá sólo de si los nodos los están

¹ No se pretende obtener un modelo general aplicable a cualquier sistema auto-regulado, sino incorporar mecanismos de auto-regulación y conceptos de la cibernética de segundo orden a los algoritmos clásicos de las ciencias de la computación, para generar nuevos modelos de toma de decisiones en grupos de procesos distribuidos, contemplando además la aplicación de métodos de imputación de datos para aquellos casos de datos faltantes, por ejemplo como consecuencia de problemas en las comunicaciones entre los procesos, y fuzzyficación de variables para dar soporte a situaciones donde no es posible o conveniente expresar valores exactos.

utilizando o no, sino del valor de agregación de las opiniones (prioridades) de los distintos nodos respecto de otorgar el acceso a los recursos compartidos (alternativas); b) las opiniones (prioridades) de los distintos nodos respecto de otorgar el acceso a los recursos compartidos (alternativas) dependerá de la consideración del valor de variables que representen el estado de cada uno de los distintos nodos. Cada nodo deberá expresar sus prioridades para la asignación de los distintos recursos compartidos respecto de los requerimientos de recursos de cada proceso de cada grupo.

Nodos que alojan procesos: $1, \dots, n$.

Procesos alojados en cada uno de los n nodos: $1, \dots, p$.

Grupos de procesos distribuidos: $1, \dots, g$.

Tamaño de cada uno de los g grupos de procesos: $1, \dots, t$.

Recursos críticos compartidos en la modalidad de exclusión mutua distribuida disponibles en cada uno de los n nodos: $1, \dots, r$.

Estados posibles de cada uno de los p procesos: a) grupo al que pertenece el proceso (0 significa proceso independiente); b) en espera de un recurso compartido con el grupo de procesos al que pertenece; c) en espera de un recurso no compartido con el grupo de procesos al que pertenece; d) en ejecución con permiso de acceso a un recurso compartido con el grupo de procesos al que pertenece; e) en ejecución sin permiso de acceso a un recurso compartido con el grupo de procesos al que pertenece; f) inactivo.

Estado posible de cada uno de los n nodos: a) número de procesos; b) prioridades de los procesos; c) uso de CPU; d) uso de memoria principal; e) uso de memoria virtual; f) estado de cada uno de los r recursos críticos compartidos en la modalidad de exclusión mutua distribuida existentes en el nodo: i) asignado a un proceso local, ii) asignado a un proceso remoto, iii) disponible; g) predisposición (prioridad nodal) para otorgar el acceso a cada uno de los r recursos críticos compartidos (alternativas) en la modalidad de exclusión mutua distribuida (resultará de la consideración de las variables representativas del estado del nodo, para cada recurso crítico compartido existente). Se obtendrá una tupla por cada uno de los n nodos, cada tupla contendrá r valores (prioridades nodales) para compartir los recursos críticos.

Estado global del sistema: a) número de grupos de procesos y tamaño (número t de procesos) de cada uno de los g grupos; b) porcentajes de consenso requeridos para otorgar el acceso a cada uno de los r recursos críticos disponibles en cada uno de los n nodos; c) predisposición (prioridad global) para otorgar el acceso a cada uno de los r recursos críticos compartidos (alternativas) en la modalidad de exclusión mutua distribuida (resultará de la agregación de las prioridades nodales para cada recurso crítico compartido existente (alternativas)). Se obtendrá una tupla con r valores normalizados (prioridades globales) para compartir los recursos críticos; d) decisión de acceso a los r recursos críticos en función de contrastar las prioridades globales normalizadas para compartir los mismos con los porcentajes de consenso requeridos para otorgar los respectivos accesos; e) el estado global del sistema deberá actualizarse reiteradamente mientras haya alguno o algunos de los p procesos que requieran acceder a alguno o algunos de los r recursos compartidos.

El sistema se auto regula reiteradamente en función del estado local de los n nodos y del estado global del sistema, produciéndose una actualización de los estados locales de los nodos como consecuencia de la evolución de sus respectivos procesos y de las decisiones de acceso a los recursos críticos producidas teniendo en cuenta el estado global del sistema: el sistema distribuido en el que se ejecutan grupos de procesos que acceden a recursos críticos, se observa a sí mismo y produce decisiones de accesos a recursos que modifican el estado del sistema y lo reajustan reiterativamente (Fig. 1 y 2).

Se efectuarán simulaciones con los modelos de decisión propuestos y los modelos de decisión computacionales clásicos, a los efectos de analizar el comportamiento de los mismos para las mismas condiciones de carga de trabajo y de consumo de recursos, dando lugar a un esquema iterativo de modificación de los modelos propuestos para intentar lograr un desempeño de los mismos al menos equivalente al de los modelos computacionales clásicos.

Se considerará la situación de datos faltantes, y la posibilidad de utilizar métodos de imputación de datos para completar los datos faltantes.

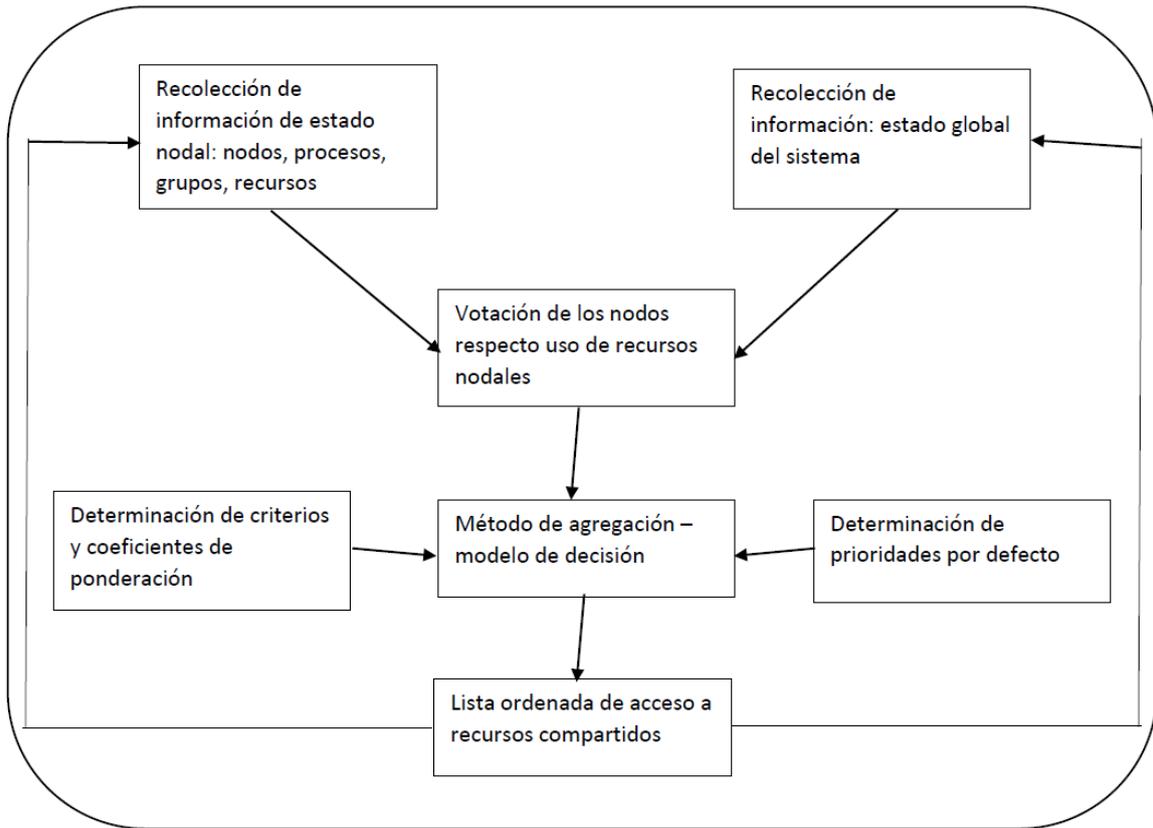


Fig. 1: Modelo global de decisión para acceso a recursos compartidos.

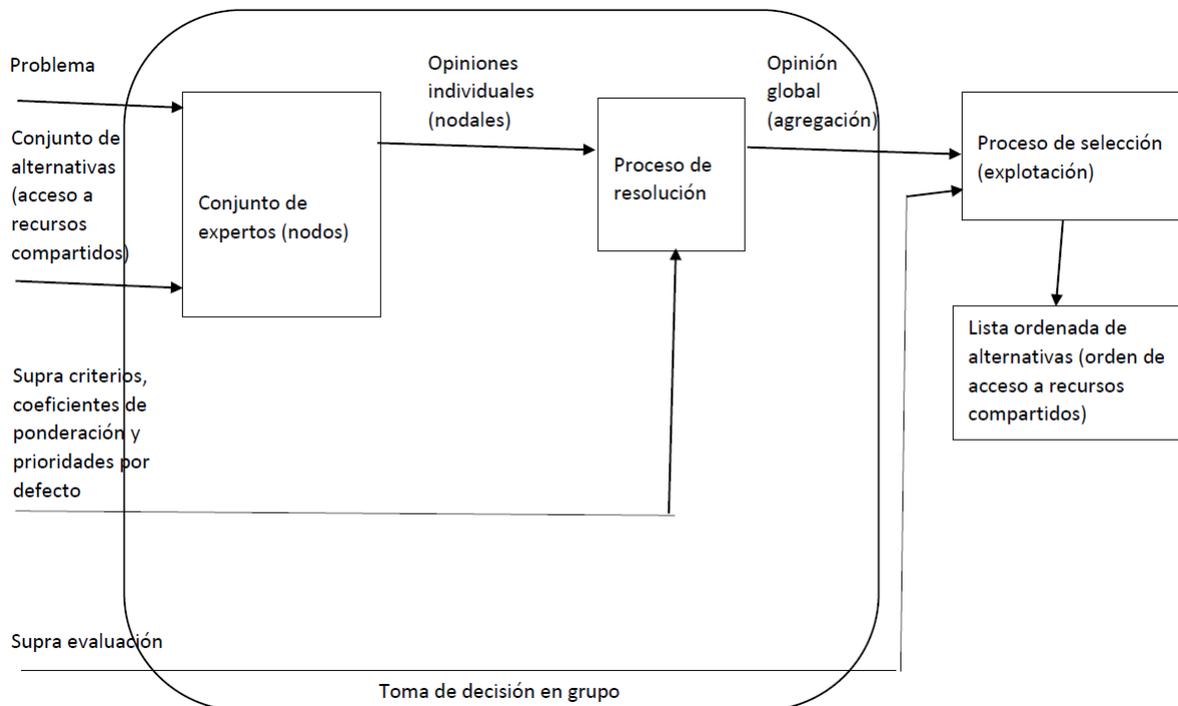


Fig. 2: Modelo de decisión incluyendo en el proceso de resolución un método de agregación específico para acceso a recursos compartidos.

Resultados y Discusión

Se ha indicado la necesidad de nuevos modelos de decisión para la toma de decisiones en grupos de procesos distribuidos que comparten recursos. Se ha mostrado una primera aproximación a las estructuras de datos que se podrían utilizar en los nuevos modelos de decisión.

Se detallan a continuación los principales aportes al estado del conocimiento en las distintas áreas relacionadas con la presente propuesta.

En (Bateson, 1991) se expresa la importancia del contexto en la comunicación. Se presenta una visión sistémica e interdisciplinaria de los procesos comunicativos, que concibe los procesos comunicacionales con un carácter circular y evolutivo, donde el feedback tiene una importancia decisiva.

En (François, 1999) se realiza un seguimiento de la evolución de conceptos de la cibernética partiendo de los pioneros, tales como Wiener, von Neumann, von Bertalanffy, von Förster y Ashby, y se muestra que el lenguaje sistémico y cibernético es una red conceptual desarrollada.

En (Gardner, 1996) se expresa la paradoja computacional, que significa que la aplicación de los métodos y modelos computacionales ha llevado a comprender en qué aspectos los seres humanos no se asemejan a las computadoras.

En (Wainstein, 2006) se expresa que si todos los estados mentales (como creencias, pensamientos y conceptos) pueden describirse como operaciones sobre representaciones simbólicas, la actividad mental (razonamiento, planificación, toma de decisión) es equivalente a la ejecución de un algoritmo.

En (Wiener, 1985) se definen los principales conceptos de la cibernética; se expresa que la cibernética es todo campo de la teoría del mando y de la comunicación, tanto en la máquina, como en el animal. También afirma que la cibernética procura hallar los elementos comunes al funcionamiento de las máquinas automáticas y al sistema nervioso del hombre, y desarrollar una teoría que abarque todo el campo del control y de la comunicación en las máquinas y en los organismos vivientes.

En (Clark, 1999) se presentan nociones como descentralización, emergencia, sistemas dinámicos, reconocimiento de patrones, conducta adaptativa, etc., aplicadas a la robótica, la etología, la economía, etc., todo ello para presentar la imagen de la mente corpórea y embebida como evolución desde la mente conexionista.

En (Foerster, 1996) se estudia la relación entre el sistema observador y el sistema observado, mostrando que estos dos sistemas son inseparables. Se estudia la relación entre realidad y comunidad. En 1958 Foerster revisó los planteamientos de Wiener acerca de la cibernética y propuso un nuevo enfoque, propio de los sistemas complejos, que define como la cibernética de segundo orden.

En (García, 2006) se estudian los sistemas complejos en sus aspectos básicos, sus principales conceptos y la construcción del conocimiento desde el enfoque de los sistemas complejos.

En (Varela, 1990) se presentan los principales conceptos de enacción y emergencia, y una reseña de la evolución de los conceptos centrales de la cibernética.

En (Chiew et al., 2004) se presenta un modelo matemático y cognitivo que describe la resolución de problemas como un proceso cognitivo.

En (Papageorgiou et al., 2005) se presenta un nuevo algoritmo de aprendizaje para Mapas Cognitivos Difusos, basado en la aplicación de un algoritmo de inteligencia de enjambre, llamado PSO (Particle Swarm Optimization: Optimización de Enjambre de Partículas).

En (Wang, 2007) se presenta un modelo de procesos meta cognitivos de la mente. Los procesos cognitivos se definen en un nivel meta cognitivo de la LRMB (Layered Reference Model of the Brain) utilizando la RTPA (Real-Time Process Algebra) y el modelo OAR (Object-Attribute-Relation (Relación Objeto-Atributo)) para la representación y manipulación de información interna de los Meta Procesos Cognitivos.

En (Ehrlich, 2007) se analiza la aplicación de modelos mentales a la interacción hombre – computadora.

En (Modha et al., 2011) se estudia la unión de la neurociencia, la supercomputación y la nanotecnología para descubrir, demostrar y suministrar algoritmos cerebrales. Se utilizan arquitecturas computacionales no-von Neumann, paradigmas de programación y aplicaciones que integran, analizan y actúan en base a grandes cantidades de datos de muchas fuentes al mismo tiempo.

En (Birman et al., 1991) se presenta un protocolo de comunicación multicast para grupos de procesos en la modalidad atómica, desde la óptica de las ciencias de la computación.

En (Tanenbaum, 1996 y 2009) y en (Tanenbaum y Van Steen, 2008) se describen los principales algoritmos de comunicación en sistemas distribuidos (algoritmos clásicos de las ciencias de la computación).

En (Silberschatz et al., 2006) se presentan los principales algoritmos de coordinación distribuida y gestión de la exclusión mutua (algoritmos clásicos de las ciencias de la computación).

En (Kennickell, 1998) se presentan métodos de imputación múltiple de datos para resolver el problema de datos faltantes pero necesarios para la toma de decisiones.

En (Nguyen et al., 2003) y en (Peláez et al., 2008) se describen métodos de imputación generales y para aplicaciones específicas.

En (Agrawal et al., 1991) se presenta una solución eficiente y tolerante a fallas para el problema de la exclusión mutua distribuida, desde la óptica de las ciencias de la computación.

En (Ricart et al., 1981) y en (Cao y Singhal, 2001) se presentan unos algoritmos para gestionar la exclusión mutua en redes de computadoras, conforme a las ciencias de la computación.

En (Stallings, 2005) se detallan los principales algoritmos de las ciencias de la computación para la gestión distribuida de procesos, los estados globales distribuidos y la exclusión mutua distribuida.

En (Chen, 2001) se estudia la aplicación de métodos lingüísticos de toma de decisiones para tratar el problemas de evaluación de calidad de servicio.

En (Fodor et al., 1994) se estudia el modelado de preferencias difuso para el soporte de decisiones multicriterio.

En (García-Melón et al., 2006) se presenta el ANP (Analytic Network Process: Proceso Analítico en Red) y su aplicación a un caso concreto de toma de decisiones. El ANP se basa en el MCDA (Multiple Criteria Decision Analysis: Análisis de Decisión Multi-Criterio)

En (Peláez et al., 2007, 2009) se analizan operadores de agregación (de mayoría) en grupo que buscan la representación de la mayoría.

En (Saaty, 1980) se presenta el AHP (Analytic Hierarchy Process: Proceso Analítico Jerárquico) para la toma de decisiones.

En (Ben-Arieh et al., 2006) se analiza la agregación de etiquetas lingüísticas y las medidas de consenso para la toma de decisiones autocrática usando recomendaciones.

En (Herrera et al., 2000) se presentan modelos de toma de decisión en grupo con información lingüística difusa.

En (Chiclana et al., 2004) se presentan varios operadores de agregación utilizables para la toma de decisiones en grupos.

En (Delgado et al., 1998) se estudia la combinación de información numérica y lingüística en la toma de decisiones en grupo.

En (Herrera et al., 2000) se estudia, respectivamente, la toma de decisiones en grupo usando operadores lingüísticos OWA y el modelo de representación lingüística difuso de 2-tupla para computar con palabras.

En (La Red et al., 2011a) se presenta el operador WKC-OWA para agregar información en problemas de decisión democrática.

En (La Red et al., 2011b) se presenta un modelo de decisión en grupo con la utilización de etiquetas lingüísticas y una nueva forma de expresión de las preferencias de los decisores.

En (Lu et al., 2007), (Martínez et al., 2007) y (Martínez et al., 2006) se estudia la toma de decisiones en grupo con multi-objetivos, el tratamiento de información heterogénea en procesos ingenieriles de evaluación y en sistemas de ingeniería.

En (Yager, 1988, 1993) se presentan y analizan los operadores OWA (Ordered Weighted Averaging: Promedio de Pesos Ordenados) aplicados a la toma de decisiones multicriterio.

En (IPAM, 2007) se muestran distintos modelos probabilísticos de cognición, utilizando elementos de las ciencias cognitivas, de las ciencias de la computación, de la matemática y de la estadística.

En (Wang et al., 2004), se presenta una descripción formal de los procesos cognitivos de toma de decisiones, en base al modelo LRMB (Layered Reference Model of the Brain). El proceso cognitivo de toma de decisiones se modela como una secuencia de decisiones basadas en producto cartesiano. Se presenta una rigurosa descripción del proceso de toma de decisión con la RTPA (Real-Time Process Algebra).

Conclusiones

El estudio de los principales conceptos de las ciencias cognitivas ha permitido suponer que la aplicación de los mismos permitirá desarrollar modelos de decisión para grupos de procesos que interactúan pudiendo compartir recursos, y que estos nuevos modelos de decisión podrían superar a los modelos clásicos de las ciencias de la computación logrando un mejor rendimiento global, al tomar decisiones considerando más información y una visión más global de la problemática.

Los nuevos modelos deben considerar la posibilidad de imputación de datos faltantes (debido a fallas en los nodos y/o en los enlaces) y la fuzzyficación de ciertas variables, utilizando la familia de operadores OWA, generando operadores de agregación específicos para cada uno de los tipos de situaciones consideradas. Los modelos desarrollados se validarán y ajustarán comparando sus resultados con los modelos habitualmente utilizados.

Se buscará, por lo tanto, generar modelos de decisión desde la óptica cognitiva para la toma de decisiones en grupos de procesos, que trasciendan el enfoque tradicional de las ciencias de la computación, basándose en los principios de la cibernética de segundo orden, los sistemas complejos y la auto-regulación, estudiando la utilización de posibles modificaciones de los operadores de la familia OWA, para los siguientes tipos de situaciones: a) que no comprometan el uso de recursos compartidos y con exigencias no estrictas de consenso; b) que no comprometan el uso de recursos compartidos y con exigencias estrictas de consenso; c) que comprometan el uso de recursos compartidos y con exigencias no estrictas de consenso; d) que comprometan el uso de recursos compartidos y con exigencias estrictas de consenso.

Referencias

- 1) AGRAWAL, D.; ABBADI, A. E. An efficient and fault-tolerant solution of distributed mutual exclusion. *ACM Trans. On Computer Systems*, USA, v. 9, p. 1–20, 1991.
- 2) BATESON, G. *Pasos Hacia Una Ecología de la Mente*. Argentina: Planeta-Carlos Lohlé, 1991.
- 3) BEN-ARIEH, D.; CHEN, Z. Linguistic-labels aggregation and consensus measures for autocratic decision making using group recommendations. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans*, v. 36, n. 3, p. 558–568, 2006.
- 4) BIRMAN, K. P.; SCHIPER, A.; STEPHENSON, P. Lightweight causal and atomic group multicast. *ACM Trans. On Computer Systems*, USA, v. 9, p. 272–314, 1991.
- 5) CAO, G.; SINGHAL, M. A delay-optimal quorum-based mutual exclusion algorithm for distributed systems. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, USA, v. 12, n. 12, p. 1256–1268, 2001.
- 6) CHEN, C. T. Applying linguistic decision-making method to deal with service quality evaluation problems. *International Journal of Uncertainty, Fuzzyness and Knowledge-based Systems*, v. 9, p. 103–114, 2001.
- 7) CHICLANA, F. et al. Induced ordered weighted geometric operators and their use in the aggregation of multiplicative preferences relations. *International Journal of Intelligent Systems*, v. 19, p. 233–255, 2004.
- 8) CHIEW, V.; WANG, Y. Formal description of the cognitive process of problem solving. *Proceedings of the Third IEEE International Conference on Cognitive Informatics (ICCI'04)*, USA, 2004.
- 9) CLARK, A. *Estar Ahí. Cerebro, Cuerpo y Mundo en la Nueva Ciencia Cognitiva*. España: Ediciones Paidós Ibérica S. A., 1999.
- 10) DELGADO, M. et al. Combining numerical and linguistic information in group decision making. *Information Sciences*, v. 107, p. 177–194, 1998.
- 11) EHRLICH, K. *The Essential Role of Mental Models in HCI*. Cambridge, MA, USA: IBM Research Division, 2007. (IBM Research Report).
- 12) FODOR, J. C.; ROUBENS, M. *Fuzzy Preference Modelling and Multicriteria Decision Support*. Dordrecht: Kluwer, 1994.
- 13) FOERSTER, H. V. *Las Semillas de la Cibernética*. España: Gedisa, 1996. (2 edición).
- 14) FRANÇOIS, C. Systemics and cybernetics in a historical perspective. *Systems Research and Behavioral Science*, USA, n. 16, p. 203–219, 1999.
- 15) GARCÍA, R. *Sistemas complejos. Conceptos, Métodos y Fundamentación Epistemológica de la Investigación Interdisciplinaria*, Gedisa Editorial, España, 2006.
- 16) GARCÍA MELÓN, M. et al. Farmland appraisal: An analytic network process (ANP) approach. *MCDM*, Greece, 2006.
- 17) GARDNER, H. *La Nueva Ciencia de la Mente*. España: Ediciones Paidós, 1996. (2ª reimpresión).
- 18) HERRERA, F.; VIEDMA, E. H. Linguistic decision analysis: Steps for solving decision problems under linguistic information. *Fuzzy Sets and Systems*, v. 115, p. 67–82, 2000.

- 19) IPAM (Institute For Pure And Applied Mathematics. University of California, Los Angeles). Probabilistic Models of Cognition: The Mathematics of Mind. USA: 2007. Disponible em: <<http://www.ipam.ucla.edu/programs/gss2007/>>.
- 20) KENNICKELL, A. B. Multiple Imputation In The Survey Of Consumer Finances. USA: Board of Governors of the Federal Reserve System. Joint Statistical Meetings, 1998.
- 21) LA RED, D. L. et al. WKC-OWA, a new Neat-OWA operator to aggregate information in democratic decision problems. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-based Systems, World Scientific Publishing Company, Francia, p. 759–779, 2011.
- 22) LA RED, D. L.; PELÁEZ, J. I.; DOÑA, J. M. A decision model to the representative democracy with expanded vote. Revista Pioneer Journal of Computer Science and Engineering Technology, India, p. 35–45, 2011.
- 23) LU, J. et al. Multi-objective Group Decision Making: Methods, Software and Applications with Fuzzy Set Technology. London: Imperial College Press, 2007.
- 24) MARTÍNEZ, L. et al. Dealing with heterogeneous information in engineering evaluation processes. Information Sciences, v. 177, n. 7, p. 1533–1542, 2007.
- 25) MARTÍNEZ, L.; LIU, J.; YANG, J. B. A fuzzy model for design evaluation based on multiple-criteria analysis in engineering systems. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-based Systems, v. 14, n. 3, p. 317–336, 2006.
- 26) MODHA, D. S. et al. Cognitive computing. Communications of the ACM, v. 54, n. 8, p. 62–71, 2011.
- 27) NGUYEN, L. N.; SCHERER, W. T. Imputation techniques to account for missing data in support of intelligent transportation systems applications. Research Report No. UVACTS-13-0-78, USA, 2003.
- 28) PAPAGEORGIOU, E. I. et al. Fuzzy cognitive maps learning using particle swarm optimization. Journal of Intelligent Information Systems, USA, v. 25, n. 1, p. 95–121, 2005.
- 29) PELÁEZ, J. I.; DOÑA, J. M.; LA RED, D. L. Fuzzy imputation method for database systems. En Galindo, J. (Ed.). Handbook of Research on Fuzzy Information Processing in Database. Hershey. Information Science Reference, USA, 2008.
- 30) PELÁEZ, J. I.; DOÑA, J. M.; LA RED, D. L. A mix model of discounted cash-flow and OWA operators for strategic valuation. Revista Interactive Multimedia and Artificial Intelligence - Special Issue On Business Intelligence And Semantic Web, España, v. 1, n. 2, p. 20–25, 2009.
- 31) PELÁEZ, J. I.; DOÑA, J. M.; RUIZ, J. A. G. Analysis of OWA operators in decision making for modelling the majority concept. Applied Mathematics and Computation, v. 186, p. 1263–1275, 2007.
- 32) RICART, G.; AGRAWALA, A. K. An optimal algorithm for mutual exclusion in computer networks. Commun. of the ACM, v. 24, p. 9–17, 1981.
- 33) SAATY, T. L. The Analytic Hierarchy Process. USA: MacGraw Hill, 1980.
- 34) SILBERSCHATZ, A.; GALVIN, P. B.; GAGNE, G. Fundamentos de Sistemas Operativos. España: MacGraw Hill, 2006. (7 Edición).
- 35) STALLINGS, W. Sistemas Operativos. España: Pearson Educación S.A., 2005. (5 Edición).
- 36) TANENBAUM, A. S. Sistemas Operativos Distribuidos. México: Prentice - Hall Hispanoamericana S.A., 1996.
- 37) TANENBAUM, A. S. Sistemas Operativos Modernos. México: Pearson Educación S. A., 2009. (3 Edición).
- 38) TANENBAUM, A. S.; STEEN, M. V. Sistemas Distribuidos - Principios y Paradigmas. México: Pearson Educación S. A., 2008. (2 Edición).
- 39) VARELA, F. J. Conocer - Las Ciencias Cognitivas: Tendencias y Perspectivas - Cartografía de las Ideas Actuales. España: Gedisa Editorial, 1990.
- 40) WAINSTEIN, M. Comunicación. Un Paradigma de la Mente. Argentina: JCE Ediciones, 2006.
- 41) WANG, Y. Formal description of a set of meta cognitive processes of the brain. Proc. 6th IEEE Int. Conf. on Cognitive Informatics (ICCI'07), USA, 2007.
- 42) WANG, Y.; LIU, D.; RUHE, G. Formal description of the cognitive process of decision making. Proceedings of the Third IEEE International Conference on Cognitive Informatics (ICCI'04), USA, 2004.
- 43) WIENER, N. Cibernética o el Control y la Comunicación en Animales y Máquinas. España: Tusquets, 1985. (2 Edición).
- 44) YAGER, R. On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making. IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics, USA, v. 18, p. 183–190, 1988.
- 45) YAGER, R. Families of OWA operators. Fuzzy Sets and Systems, v. 59, p. 125–148, 1993.