

## Protocolos de Interacción de un Sistema Multi-Agente como Apoyo a la Negociación y Coordinación en Grupo.

María Eugenia Ucrós , Alejandro Quintero.  
Carrera 1 # 18 A - 70.- P.O box. 4976.  
Santafé de Bogotá, Colombia, Sur América.  
Universidad de los Andes, Dpto. Ingeniería de Sistemas.  
aquinter@cdcnet.uniandes.edu.co

### RESUMEN

La Inteligencia Artificial Distribuida (IAD) se ha interesado por estudiar el modelo y comportamiento de entidades que cooperan entre sí para la resolución de un problema. Los tres ejes fundamentales de la IAD son la Resolución Distribuida de Problemas (RDP), la Inteligencia Artificial en Paralelo (IAP) y los Sistemas Multi-Agentes (SMA), que se encargan del comportamiento, cooperación y coordinación de agentes inteligentes que están resolviendo un problema [3]. Este artículo explica cómo es la negociación y la coordinación entre agentes de un modelo de SMA, tomando como ejemplo un modelo de investigación cooperativa apoyada en bases consensuales [1]. Para especificar la interacción de las negociaciones se expone un lenguaje que se basa en la teoría de los SMA, de lógica modal y otros conceptos; este lenguaje permite la especificación formal de los protocolos de interacción entre los agentes [5].

### PALABRAS CLAVES

Inteligencia Artificial Distribuida, Sistemas Multi-Agentes, Bases de Conocimiento Consensuales, Investigación Cooperativa, Coordinación, Negociación.

### INTRODUCCIÓN

Los *Sistemas Multi-Agentes (SMA)* son sistemas modulares de computación distribuida, compuestos de un número de entidades computacionales inteligentes llamadas "agentes", que son capaces de actuar por sí mismas y de interactuar con otros para modificar el mundo. Cuando los agentes de un SMA van a resolver un problema, la solución a éste es el resultado de la interacción cooperativa entre todos los agentes y consta del conjunto de acciones pensadas estratégicamente

para resolverlo [8]. Este conjunto de acciones corresponden al plan global del sistema, además, cada agente puede tener un sub-plan para resolver la tarea que le corresponde y contribuir con la solución general, de esta manera, los sub-planes de los agentes convergen al plan global [10].

La *coordinación* entre los agentes les permite considerar todas las tareas a realizar y coordinarlas para no duplicar trabajo entre ellos, para que no haya agentes sobrecargados de trabajo y para hacer que los sub-planes de los agentes sean compatibles; por esto, la coordinación entre agentes está íntimamente relacionada con la planificación de acciones para resolver conflictos en el sistema. Hay varios modelos de coordinación de acciones entre agentes, dentro de los cuales se pueden nombrar dos: *coordinación global*, cuando el sistema multi-agente es capaz de determinar y planificar globalmente las acciones de los diferentes agentes. En este caso un agente verifica todos los conflictos para todos los agentes del sistema. Y *coordinación individual*, cuando los agentes del SMA tienen completa autonomía para decidir qué hacer y resolver los conflictos que detecten localmente con los otros agentes [3]. La coordinación global es más simple, pero puede ser ineficiente; la coordinación individual es más complicada, pero es más eficiente ya que se pueden hacer verificaciones en paralelo. En los SMA se pueden implementar cualquiera de estos dos modelos, teniendo en cuenta las necesidades y los requerimientos del sistema. Además de los dos modelos mencionados existen dos tipos de coordinación: *coordinación orientada por los problemas*, en la que los agentes deben coordinar los planes de acciones para evitar bloquearse mutuamente y para evitar repetir acciones y no crear inconsistencias. Y *coordinación orientada por la cooperación*, en la que los agentes deben sincronizar todas sus acciones para obrar eficientemente y poder resolver el problema entre todos [3]. Ambos tipos de coordinación pueden combinarse para obtener mejores resultados en el sistema, ya que el primer tipo está orientado por las acciones de cada agente y el segundo por la sincronización entre ellos. Además, se pueden combinar con los modelos de coordinación dependiendo del sistema.

Para que la cooperación y la coordinación entre los agentes de un sistema funcionen bien, debe existir un mecanismo adicional que logre ponerlos de acuerdo en una situación que los beneficie a todos, cuando cada agente defiende sus propios intereses. Este mecanismo es llamado *negociación*. El resultado de la negociación es un plan “combinado” que les permite a los agentes equilibrar la carga de trabajo, comprometer a los agentes a realizar correctamente las acciones que

les corresponden y que no exista conflicto entre los sub-planes de cada agente. En consecuencia, las acciones más comunes en la negociación entre agentes son el intercambio de planes globales y parciales para verificar conflictos, comunicación de información que altere las metas de otros agentes cuando se distribuyen labores, etc. [11].

### **INVESTIGACIÓN COOPERATIVA, BASES CONSENSUALES Y SMA**

La *investigación cooperativa* es el fruto de la colaboración de varios investigadores más sus aportes individuales, además, se puede realizar con la colaboración de otros equipos que investiguen sobre temas afines. Esto trae como ventaja que se pueden combinar varias clases de conocimientos, hacer más rápido y eficiente la detección de errores y mejorar la calidad del conocimiento de la investigación. Los grupos de investigación manejan diversas clases de conocimiento y necesitan que este conocimiento y las opiniones de los investigadores circulen dentro de ellos, que se forme un conocimiento como conclusión de sus discusiones, etc. Adicionalmente, es muy importante que el conocimiento que se obtiene como conclusión de las discusiones del grupo se almacene para su control, difusión, consulta, correcciones y usos posteriores.

Las *bases de conocimiento consensuales* son una herramienta que permite almacenar de manera estructurada todo el conocimiento de un grupo, apoyar el intercambio de ideas y de conocimiento en un grupo y/o varios grupos y provee mecanismos para que los miembros del grupo logren ponerse de acuerdo en la validación de un nuevo conocimiento. Es decir, que son una herramienta que brinda gran apoyo a un grupo que realice investigación cooperativa. Estas bases están compuestas por un conjunto de bases de conocimiento<sup>1</sup> y una base consensual donde está recopilado el conocimiento del grupo [1]. Así, un grupo de investigación puede ser representado por un *SMA*, donde cada miembro es representado por un agente que tiene una base de conocimiento y el conocimiento del grupo se almacena en la base consensual, manejada por otro agente. También la representación de conocimiento y los procesos o mecanismos que hacen parte de las bases de conocimiento consensuales se pueden modelar computacionalmente con *SMA*.

---

<sup>1</sup> La base de conocimiento es un conjunto de representaciones de hechos del mundo de manera estructurada [7], además, está apoyada por mecanismos de razonamiento y de producción de explicaciones [1].

Para definir un *SMA* más o menos completo es necesario definir el conocimiento interno de los agentes, su manera de comportarse ante el mundo y cómo interactúan con los demás agentes [8;3].

Teniendo en cuenta la dinámica de las negociaciones entre personas<sup>2</sup> y el comportamiento y funcionamiento de los agentes de un *SMA*, se desarrolló un lenguaje que permite especificar la manera cómo interactúan los agentes de un sistema. Este lenguaje abarca conceptos de alto nivel como las intenciones<sup>3</sup> y know-how<sup>4</sup> de los agentes, basados en el lenguaje de Munindar Singh [8], las cuales permiten especificar un poco el conocimiento que los agentes tienen internamente y también permiten introducir una noción formal de correctitud del sistema en términos de estos conceptos. Este lenguaje además, permite especificar comunicación a alto nivel entre agentes, basada en los actos de habla y en procesos de negociación [2], y modelar estados parciales o totales del sistema, los cambios que sufren estos estados, así como las acciones que hacen posible estos cambios. Además, se puede expresar que las acciones se ejecutan de manera secuencial o concurrente.

En las próximas secciones se describe un modelo de investigación cooperativa apoyado en bases consensuales, que se modela computacionalmente con *SMA*, y en el cual se puede ver la utilidad del lenguaje.

### **MODELO DE INVESTIGACIÓN COOPERATIVA CON BASE CONSENSUAL**

Este modelo está compuesto por un grupo de *investigadores*, que lo conforman un investigador del grupo que formula la hipótesis: el *autor*; el grupo de investigadores que critican, revisan, validan, etc. la hipótesis propuesta: los *críticos*; un investigador que coordina las intervenciones de los críticos y decide validar o disolver la hipótesis cuando las condiciones sean suficientes: el *mediador*; un investigador que administra la información de la base consensual: el *documentalista*; unos asistentes de investigación que ayudan a los investigadores que participan

---

<sup>2</sup> que se puede ver como un conjunto de conversaciones interconectadas entre sí.

<sup>3</sup> Las intenciones de un agente se pueden definir como el objetivo concreto que pretende alcanzar al realizar una o varias acciones.

<sup>4</sup> El know-how de un agente es la habilidad, potencial o destreza que tiene para ejecutar una acción de manera exitosa, es decir, es saber cómo realizar dicha acción.

en la discusión, cuya función es servir de apoyo en las actividades que el investigador jefe lo requiera: los *asistentes*; y un investigador que no participa en la discusión, sino que guarda la información general del sistema y de cada uno de los investigadores: el *facilitador*.

En este modelo los investigadores del grupo están relacionados sin ningún tipo de jerarquía, excepto los asistentes y sus investigadores jefe, en los que sí hay relación de jerarquía vertical simple. Es importante tener en cuenta esto para los procesos de decisión y negociación que se describen más adelante.

Cada investigador tiene una base de conocimiento propia, y hay una base de conocimiento consensual, común a todos, donde está almacenado el conocimiento aceptado por todos los investigadores. La dinámica es la siguiente: el autor tiene una hipótesis y la modela (K1), para difundirla en el grupo. El autor escoge al mediador y luego entre ellos, negocian el número mínimo y máximo de críticos que pueden participar en la discusión, de acuerdo con esto, el autor escoge los críticos. Si el autor no consigue ni críticos, ni mediador en el grupo, no hay discusión. Si el autor sí consigue críticos y mediador, transmite K1 a todos ellos. Los críticos y el mediador hacen comentarios y correcciones de K1 al autor. Los tipos de comentarios que hace un crítico o mediador pueden ser: pregunta, aclaración, contradicción, opinión, etc. Pueden haber muchos más tipos de comentarios en el grupo y todos están basados en la teoría de actos de habla y en lenguajes de negociación [9;2].

El autor recibe las correcciones o comentarios en un buzón de mensajes (todos los investigadores lo tienen) y los guarda en la base de comentarios, que es como una caja donde se guardan todos los comentarios que llegan al autor de manera clasificada en orden de prioridad<sup>5</sup>. El autor tiene sus mecanismos para aceptar o no los comentarios, cuando no los acepta envía un mensaje al crítico emisor diciendo que no acepta su comentario y la correspondiente justificación. Cuando sí los acepta y esto implica modificar la hipótesis, la corrige y luego la vuelve a transmitir a todos. El autor también envía mensajes al mediador informándole de los comentarios de algunos críticos. Con esta información el mediador monitorea los comentarios que llegan al autor, a los

---

<sup>5</sup> Cada investigador del sistema tiene una tabla de prioridades clasificada por ontologías. La prioridad corresponde a la valoración subjetiva o la opinión que tiene el investigador de los demás. Puede haber varias entradas para un mismo investigador con diferente prioridad, y diferentes clases de prioridades.

críticos según una lista de preferencia, que ellos previamente envían. De esta manera los críticos tienen su propia base de comentarios de acuerdo con sus preferencias.

Cuando se repiten comentarios que no fueron aceptados por el autor, el mediador comienza un proceso de negociación para decidir quién tiene la razón, entre los críticos y el autor. En este proceso se pueden tener en cuenta las opiniones que tiene el mediador de ellos.

Cabe mencionar que los críticos o el mediador pueden retirarse en cualquier momento o el autor puede decidir que no intervengan más. Si es necesario, el autor solicita a otro investigador que cumpla la función del que se retira (mediador o crítico), mediante un proceso de negociación igual al del comienzo.

Cuando todos los críticos reciben una modificación de K1, el autor actualiza la "historia"<sup>6</sup> de los cambios realizados en K1: por qué, quién sugirió, etc. Si ya no quedan más comentarios en la base de comentarios del autor, se envía un mensaje al mediador para que empiece a validar o someter a voto la hipótesis actual. Para que el mediador empiece a validar se debe dejar pasar un tiempo prudencial o tiempo-límite<sup>7</sup>, especificado por él mismo. Si el mediador decide validar, envía una convocatoria a todos los críticos y los críticos contestan si están en acuerdo o desacuerdo con la validación de la hipótesis. El mediador hace consenso por algún método de quorum. Si no hay consenso, la hipótesis no pasa a la base consensual y el mediador puede darle otra oportunidad al grupo para seguir discutiendo. Si hay consenso, la hipótesis corregida y verificada pasa al documentalista, con ciertas partes de la historia escogidas por el mediador (Figura 1).

El documentalista incorpora el nuevo conocimiento a la base consensual y lo hace público para los demás grupos o bases consensuales, los documentalistas de las otras bases deciden consultarlo o no.

---

<sup>6</sup> La historia es un archivo donde se guarda el estado inicial de la hipótesis y todas sus modificaciones posteriores (con todas las referencias necesarias: por qué y por quién se modificó, etc).

<sup>7</sup> Tiempo-límite se define como el tiempo suficiente para suponer que no hay más comentarios de los críticos.

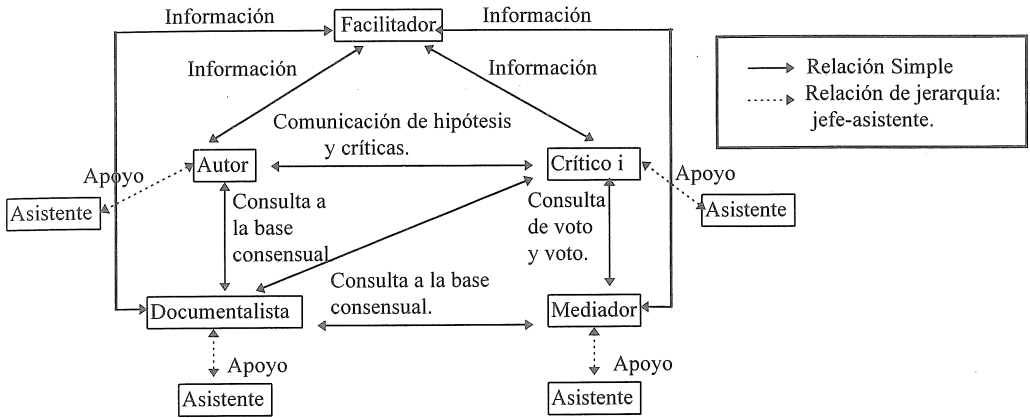


Figura1: Interacción entre los investigadores.

**PERSPECTIVA SISTEMAS MULTI-AGENTES**

Cada investigador del modelo es modelado como un agente. Para definir la manera como se comportan los agentes, es necesario definir ciertas características como (Figura 2.): el conocimiento del agente representado de alguna manera (con IA) y que le otorga la inteligencia; la funcionalidad que son las tareas que sabe hacer el agente y que los demás agentes necesitan saber; las creencias son el conjunto de las opiniones que tiene cada agente de los demás; el control de un agente que se forma con la especificación de las metas, las intenciones, los planes y las estrategias. Las metas son estados que el agente desea alcanzar en algún momento, las intenciones son las metas adoptadas para alcanzar en un momento cercano, los planes son un conjunto de estrategias para alcanzar las intenciones y las estrategias son acciones sobre el mundo. Dependiendo del rol de cada agente en el sistema, se define la funcionalidad, las metas, las intenciones, los planes y las estrategias. La comunicación entre agentes es por medio del paso de mensajes en forma sincrónica y asincrónica y se basa en los actos de habla de negociación. Además de especificar cómo se comportan los agentes, hay que especificar la manera cómo interactúan con los demás agentes. Esto se hace especificando los procesos de negociación, coordinación y cooperación, mencionados anteriormente. Hay varios procesos de negociación en el modelo que les permite coordinarse y cooperar entre sí, por ejemplo: el proceso de invitación del autor a varios investigadores para que sean críticos y mediador, el proceso de votación de

todos los críticos para la validación de la hipótesis, cuando el mediador interviene para resolver conflictos entre el autor y algún o algunos críticos, etc. Una especificación más completa de este modelo con sistemas multi-agente se encuentra en [6].

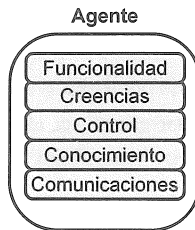


Figura 2. Arquitectura de un Agente.

**EJEMPLOS DE INTERACCIÓN BASADOS EN EL LENGUAJE YUBARTA**

Como se mencionó anteriormente, los protocolos de interacción de un SMA para la coordinación y negociación pueden ser especificados con ayuda del lenguaje Yubarta. A continuación se expondrán tres ejemplos con base en el modelo mencionado, de procesos de coordinación y negociación. La definición completa de este lenguaje se encuentra en [5].

*Ejemplo 1:*

Este ejemplo de negociación y de coordinación global, indica que el autor envía una invitación a algunos investigadores para que sean críticos y mediador, y si estos investigadores saben criticar y mediar (respectivamente), entonces los investigadores envían un mensaje aceptando ejercer el rol correspondiente, y el sistema ahora tiene un mediador y por lo menos un crítico:

$\forall i,j: i,j \in I \bullet A \text{ --- INVITAR (MSG (:Contenido: invitación a ser crítico))} \rightarrow i \parallel \dots$   
 $A \text{ --- INVITAR (MSG (:Contenido: invitación a ser mediador))} \rightarrow j$   
 $\dots \{(), <agente: Mediador, id: M, \dots, agente: Crítico, id: C >\}$   
 $\{\exists i,j: i,j \in I \wedge iK_{sab}^8 \text{ Criticar} \wedge jK_{sab} \text{ Mediar} \}$   
 $i \text{ --- RESPUESTA (MSG (: Contenido: OK))} \rightarrow A \parallel j \text{ --- RESPUESTA (MSG (: Contenido: OK))} \rightarrow A.$

<sup>8</sup> Tomado de [8], cáp.4 pág.87.

*Ejemplo 2:*

Este ejemplo de negociación, indica que si todos los críticos envían su voto al mediador y éste obtiene consenso de votos, entonces él envía el resultado de la votación al autor y la hipótesis al documentalista. Luego el documentalista incorpora la hipótesis a la base consensual para hacerlo público:

$$\forall i: i \in C \wedge \exists! j: j \in M: i \text{ -- VOTAR (MSG (:Contenido: voto)) } \rightarrow j$$

----- {<agente: Documentalista, id: D, BC = BC U K,...>}

$$\{ \text{<agente: Mediador, id: M, consenso = OK, ...> } \}$$

$$\exists! k, l: k \in D, l \in A: j \text{ -- INFORMAR (MSG (:Contenido: resultado del voto)) } \rightarrow l \parallel$$

$$j \text{ -- INFORMAR (MSG (:Contenido: hipótesis)) } \rightarrow k .$$
*Ejemplo 3:*

Este ejemplo de negociación, indica que si algún investigador tiene una tarea para que la realice alguno de sus asistentes y hay algún asistente que esté disponible, entonces la delega al correspondiente asistente y este asistente tiene como compromiso realizarla correctamente:

$$\{ \text{<agente: Investigador, id: I, compromiso: T,...> } \}$$

----- {<agente: i, compromisos: T,...>}

$$\exists! j: i \in I \wedge j \in As \wedge \text{<agente: j, compromisos: no hay,...>} : i \text{ -- DELEGAR (MSG (:Contenido: Tarea a realizar)) } \rightarrow j .$$
**CONCLUSIONES**

En este artículo se muestra que los SMA son un buen paradigma de apoyo para modelar computacionalmente ambientes cooperativos como las bases consensuales, y en particular la investigación cooperativa presentada aquí. Además, se muestra que si se identifican los procesos de coordinación y negociación del modelo en el SMA éstos se pueden especificar de manera formal con ayuda de herramientas, como el lenguaje utilizado en este artículo, para que pueda ser verificada la correctitud de cada una de las interacciones identificadas. Esto también es de gran importancia cuando se quieren implementar ambientes cooperativos que sirvan como herramienta de apoyo para los procesos de negociación en diferentes áreas, como por ejemplo: en diseño arquitectónico, en medicina, en las organizaciones, etc.

**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Florence Lemaire. (1993); *Etude des Protocoles d'Interaction dans un environnement d'aide à la recherche collaborative*. INRIA Rhône-Alpes y IMAG/LIFIA
- [2] Hernández Marcela. (1995); *Modelaje de Procesos de Negociación como Sistemas de Comunicación*. Documento Tesis I, Magister Ingeniería de Sistemas, Universidad de los Andes, Colombia.
- [3] Labidi S. y Lejouad W. (1993); *De l'Intelligence Artificielle Distribuée aux Systèmes Multi-Agents*. No. 2004. Août 1993.
- [4] Quintero Alejandro, Rueda Sandra y Ucrós María Eugenia. (1995); *Teoría de Agentes y Sistemas Multi-Agents*. Universidad de los Andes, Colombia.
- [5] Quintero Alejandro, Hernández Marcela, Reichert Carolina, Rueda Sandra, Takahashi Silvia y Ucrós María Eugenia. (1995); *YUBARTA: Lenguaje para Especificación de Protocolos de Interacción en Sistemas Multi-Agents*. Universidad de los Andes, Colombia.
- [6] Ucrós María Eugenia. (1995); *Modelo de Bases de Conocimiento Consensual usando Multi-Agents*. Documento de Tesis I, Magister Ingeniería de Sistemas, Universidad de los Andes, Colombia.
- [7] Russell Stuart J. y Norvig Peter. (1995); *Artificial Intelligence a Modern Approach*. Prentice Hall International Editions.
- [8] Singh Munindar P. (1993); *Multiagent Systems- A Theoretical Framework for Intentions, Know-How, and Communications* - Lecture Notes in Artificial Intelligence, 799.
- [9] Mulholland, J. (1991); *The Language of Negotiation*. Routledge.
- [10] Ephrati Eithan y Rosenschein Jeffrey. (1995); *Multi-Agent Planning as a Dynamic Search for Social Consensus*. Hebrew University, Givat Ram, Jerusalem, Israel.

[11] Zlotkin Gilad y Rosenschein Jeffrey S. (1994); *A Domain Theory for Task Oriented Negotiation*.

Hebrew University, Givat Ram, Jerusalem, Israel.