

# Agentes y Sistemas Multi-Agente

Juan Wilson Mallcu Morales  
wilmmes@hotmail.com

## RESUMEN

Este artículo se centra en la explicación e integración de los conceptos propios y de otros autores, considerados básicos en cuanto a SMA (Sistemas Multi-Agente); las características de las entidades que integran este tipo de sistemas y las características de los SMA como un todo, las cuales se desprenden del comportamiento e interacción de las entidades que integran los sistemas. Comprender e integrar estas definiciones, ofrece la base de conocimiento necesaria para desarrollar un trabajo posterior en el tema.

Entre las características de los agentes (entidades que integran un SMA) se tienen en cuenta: funcionalidad o interfaz, creencias o conocimiento subjetivo, conocimiento certero, control y comunicaciones. En cuanto a las características holísticas del sistema se tienen en cuenta: organización social, cooperación, coordinación, negociación y control.

## Palabras Claves

Agentes, Sistemas Multi-agente.

## 1. INTRODUCTION

El dominio del **sistema multiagente** o de inteligencia artificial distribuida es una ciencia y una técnica que trata con los sistemas de inteligencia artificial en red.

El bloque fundamental de construcción de un sistema multiagente, como es de esperarse, son los *agentes*.

Aunque no existe una definición formal y precisa de lo que es un agente, éstos son por lo general vistos como entidades *inteligentes*, equivalentes en términos computacionales a un proceso del sistema operativo, que existen dentro de cierto contexto o ambiente, y que se pueden comunicar a través de un mecanismo de comunicación inter-proceso, usualmente un sistema de red, utilizando protocolos de comunicación.

La Inteligencia Artificial Distribuida integra los conceptos de dos campos de conocimiento: la Inteligencia Artificial y los Sistemas Distribuidos. El campo de La Inteligencia Artificial (IA) intenta comprender las entidades inteligentes, pero diferente de la filosofía y la psicología que también intentan hacer lo mismo, la Inteligencia Artificial intenta construir entidades inteligentes [Rus et al95]. El campo de Los Sistemas Distribuidos estudia las propiedades de conjuntos de procesadores autónomos que no comparten memoria primaria, pero sí cooperan comunicándose por medio del envío de mensajes sobre una red de comunicación.

A partir de los conceptos de Inteligencia Artificial y Sistema Distribuido expuestos, La Inteligencia Artificial Distribuida (IAD) puede ser definida como un campo del conocimiento que estudia e intenta construir conjuntos de entidades autónomas e inteligentes que cooperan para desarrollar un trabajo y se

comunican por medio de mecanismos basados en el envío y recepción de mensajes.

Desde que surgió, la IAD se ha interesado, entre otros temas, por estudiar el modelo y comportamiento de varios agentes que cooperan entre sí para la resolución de un problema o desarrollo de una tarea. Los tres ejes fundamentales que se han estudiado en IAD son

- Los Sistemas Multi-Agente (SMA): esta rama de la IAD estudia el comportamiento
- de agentes inteligentes que resuelven un problema de manera cooperativa.
- Resolución Distribuida de Problemas (RDP): esta rama de la IAD trabaja con las formas de dividir un problema, para asignar las partes a un conjunto de entidades independientes y cooperantes, para que en grupo hallen la solución.
- La Inteligencia Artificial en Paralelo (IAP): esta rama de la IAD se centra en el desarrollo de lenguajes y algoritmos paralelos para sistemas concurrentes en IAD.

Como ya se dijo, este artículo se centra en SMA, a continuación se presentan algunos conceptos básicos, relacionados con estos sistemas, organizados en dos partes: Características de un SMA y Características que deben exhibir los agentes que integran un SMA.

## 2. MARCO TEORICO

Los Agentes son entidades inteligentes que conforman un SMA son llamadas agentes. Un agente es una entidad física o abstracta que puede percibir su ambiente a través de sensores, es capaz de evaluar tales percepciones y tomar decisiones por medio de mecanismos de razonamiento sencillo o complejo, comunicarse con otros agentes para obtener información y actuar sobre el medio en el que se desenvuelve a través de ejecutores.

A continuación se presentan algunos conceptos relacionados con agentes. Estos conceptos pueden ser clasificados de acuerdo con dos puntos de vista: el agente como entidad individual y el agente como entidad perteneciente a un sistema, sin embargo, en este documento se presentan de manera integrada.

Un agente puede ser clasificado por su rol o papel en una sociedad de agentes (SMA al que pertenece), por su especialidad o actividad en la que es experto, por sus objetivos o metas en el SMA, por su funcionalidad o lo que es capaz de hacer, por sus creencias, por su capacidad de comunicación y por su capacidad de aprendizaje

### 2.1 Agentes Cognitivos y Reactivos

Un AGENTE COGNITIVO es aquel que es capaz de efectuar operaciones complejas, es individualmente inteligente (es un

sistema más o menos experto, con capacidad de razonamiento sobre su base de conocimiento<sup>1</sup>), puede comunicarse con los demás agentes y llegar a un acuerdo con todos o algunos de ellos, sobre alguna decisión. Un sistema cognitivo está compuesto por un pequeño número de agentes cognitivos.

Un AGENTE REACTIVO es un agente de bajo nivel, que no dispone de un protocolo ni de un lenguaje de comunicación y cuya única capacidad es responder a estímulos. Los agentes reactivos no son individualmente inteligentes, sino globalmente inteligentes<sup>2</sup>. Los sistemas reactivos por lo general están compuestos por un gran número de agentes reactivos que realizan acciones entre todos, para esto es necesario tener en cuenta nuevas teorías de cooperación y comunicación que permitan el desempeño de estas acciones (Figura 1)

Es posible concebir sistemas heterogéneos cuyo comportamiento se derive de los dos tipos de agentes y tenga características de ambos. Es decir, es posible dotar a los agentes cognitivos de capacidades de reacción a los eventos, a tales agentes se les puede llamar AGENTES HÍBRIDOS

Tabla 1. Clasificación de sistemas de agentes

Sistemas Cognitivos	Sistemas Reactivos
Representación explícita del ambiente	No tiene
Pueden tener conocimiento del pasado	No tienen memoria
Agentes complejos	Funcionamiento estímulo/respuesta
Pocos agentes	Muchos agentes

## 2.2 Características de un Agente Cognitivo

Los avances en los trabajos de IAD en SMA permitieron definir las siguientes características [Lab93] :

- **Intencionalidad:** Un agente cognitivo es guiado por sus metas, las cuales describen las situaciones que son deseables para el agente. Una intención es la declaración explícita de sus metas y medios para llegar a ellas, y los planes se pueden definir como secuencia de acciones que lleven a un agente a obtener su meta.
- **Racionalidad:** Un agente cognitivo posee criterios de evaluación de acciones y de selección, de tal manera que lo que decida sea en beneficio de él (adquirir más conocimiento, obtener respuestas, etc.). Además, es capaz de justificar sus decisiones.
- **Compromiso:** Un agente cognitivo cooperativo<sup>3</sup> planifica sus acciones por coordinación y negociación con los otros agentes. Los agentes que participan en la coordinación de actividades obran bajo el supuesto de que en condiciones normales, cada uno de los participantes cumplirá con el plan con el que se comprometió.

- **Adaptabilidad:** Un agente cognitivo es capaz de controlar sus aptitudes y comportamiento de acuerdo al rol que asuma en un sistema.
- **Inteligente:** Un agente cognitivo es inteligente si es racional, intencional y adaptable. Un agente inteligente debe ser capaz de operar exitosamente en varios ambientes, si se toma el suficiente tiempo para adaptarse

## 3. DESARROLLO

Un Sistema Multiagente (SMA) está constituido por un conjunto de entidades inteligentes llamadas agentes que coordinan sus habilidades para la resolución de problemas individuales o globales. Estos sistemas considerados como un todo, exhiben características particulares, que se presentan a continuación.

### 3.1 Organización Social

Es la manera como el grupo de agentes está constituido en un instante dado. La organización social está relacionada con la estructura de los componentes funcionales del sistema, sus características, sus responsabilidades, sus necesidades y la manera como realizan sus comunicaciones. Esta organización puede ser estática o dinámica, dependiendo de las funciones o tareas de cada agente.

Se puede considerar que una sociedad de agentes está constituida por tres elementos:

- Un grupo de agentes.
- Un conjunto de tareas a realizar.
- Un conjunto de recursos.

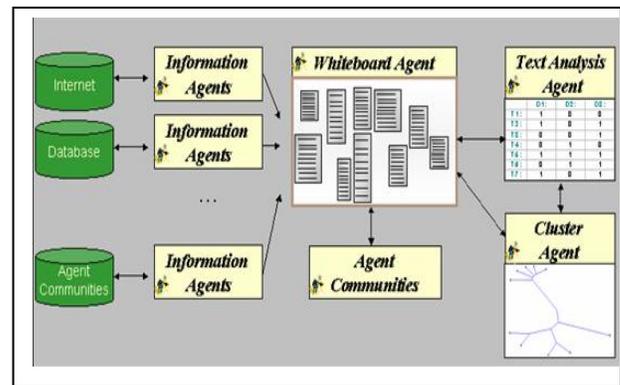


Figura 1.

La realización de las tareas por parte de los agentes, puede ser organizada de varias formas, por ejemplo : cada agente ejecuta una de las tareas, o bien, las tareas son divididas en subtareas, por medio de algún mecanismo de descomposición de problemas y estas subtareas son las realizadas por los agentes. Las tareas que debe realizar un agente dependen, entre otros factores, del rol que este agente asume en el sistema. Por ejemplo, en un sistema oficina, un agente persona asume el rol de secretaria y realiza las labores relacionadas con ese rol; este mismo agente podría asumir el rol de jefe y realizaría labores muy diferentes, relacionadas con su nuevo rol. Para la realización de tareas un agente puede necesitar recursos del

sistema, en este caso tiene que coordinarse con los otros agentes del sistema que deseen usar el mismo recurso.

La organización en los SMA depende del tipo de comunicación y el modo de cooperación entre agentes, así como del tipo de agentes que conforman el grupo. En general se pueden distinguir tres tipos de configuraciones organizacionales:

- **Estructura Centralizada** : En este tipo de configuración existe un agente que controla la interacción de los demás agentes del sistema, porque tiene la información o la funcionalidad para hacerlo.
- **Estructura Horizontal** : Este tipo de configuración existe cuando todos los agentes que integran un sistema están al mismo nivel, es decir, no hay ningún agente que haga las veces de maestro o supervisor, ni tampoco agentes esclavos.
- **Estructura Jerárquica** : Esta configuración existe cuando los agentes trabajan diferentes niveles de abstracción de un problema, es decir, la configuración es de niveles. En un mismo nivel se establece una configuración horizontal, si hay más de un agente. Para resolver un problema cada agente divide el problema en subproblemas que él puede resolver, subproblemas que puede resolver con la cooperación de los agentes que están al mismo nivel y subproblemas que sabe que los agentes de niveles inferiores de la jerarquía pueden resolver.
- **Estructura "ad hoc"** : Esta configuración puede ser una mezcla de las tres anteriores, se caracteriza porque la dinamicidad de la estructura está regida por el ajuste mutuo entre los pequeños grupos de agentes en el sistema.

Escoger una u otra estructura de organización depende de las funciones que deben cumplir los agentes del sistema, de las características de ellos y de qué tan complejo se quiere el sistema [Lab93].

### 3.2 Cooperación

En un SMA existen dos tipos de tareas que deben ser realizadas : las tareas locales y las tareas globales. Las tareas locales son las tareas relacionadas con los intereses individuales de cada agente y las tareas globales son las tareas relacionadas con los intereses globales del sistema. Estas tareas globales son descompuestas y cada subtarea es realizada por un agente, de acuerdo a sus habilidades y bajo el supuesto de que la integración de la solución de las subtareas, llevará a la solución global. La descomposición de la tarea global no necesariamente garantiza la independencia de cada una de las subtareas, por ello se necesitan mecanismos de cooperación que permitan compartir resultados intermedios que lleven al progreso en la resolución de las tareas de otros agentes y al progreso de la solución global que debe alcanzar el sistema.

Para que los agentes puedan cooperar de manera eficiente, cada uno de ellos debe tener ciertas características:

- Tener un modelo bien definido del mundo, que le permite localizar a los demás agentes, saber cómo comunicarse con ellos, qué tareas pueden realizar, etc.

- Poder integrar información de otros agentes con la suya, para formar conceptos globales o conocimiento conformado por varios agentes.
- Poder interrumpir un plan que se este llevando a cabo para ayudar o atender a otros agentes para que puedan cooperar entre sí cuando los agentes lo necesiten.

La cooperación depende mucho de la configuración organizacional del grupo de agentes. Si la estructura es centralizada los agentes dependientes piden colaboración casi que permanente al agente maestro, si la estructura es jerárquica, la cooperación puede hacerse por niveles (en un mismo nivel) o de niveles superiores a niveles inferiores y si la estructura es horizontal la cooperación se hace entre todos los agentes.

Existen varios modelos de cooperación, dentro de los cuales se pueden mencionar :

- **Cooperación compartiendo tareas y resultados** : Los agentes tienen en cuenta las tareas y los resultados intermedios de los demás para realizar las tareas propias.
- **Cooperación por delegación** : Un agente supervisor o maestro descompone una tarea en subtareas y las distribuye entre los agentes esclavos, para que sean resueltas. Después, el supervisor integra las soluciones para hallar la solución al problema inicial.
- **Cooperación por ofrecimiento** : Un agente maestro descompone una tarea en subtareas y las difunde en una lista a la que tienen acceso los agentes que integran el sistema, esperando que ellos ofrezcan su colaboración de acuerdo a sus habilidades. El supervisor escoge entre los ofrecimientos y distribuye las subtareas

### 3.3 Coordinación

La coordinación entre un grupo de agentes les permite considerar todas las tareas a realizar y coordinarlas para no ejecutar acciones no deseables, por ejemplo :

- Los agentes no generen y comuniquen subsoluciones que lleven al progreso en la solución de un problema.
- Los agentes generen y comuniquen resultados redundantes.
- Distribución inapropiada de la carga de trabajo entre los agentes.

Esta coordinación está relacionada con la planificación de acciones para la resolución de tareas, porque estos planes permiten :

- Conocer a alto nivel y predecir el comportamiento de otros agentes del sistema.
- Intercambiar resultados intermedios que lleven al progreso en la solución a la tarea global.
- Evitar acciones redundantes, si ellas no son deseables.

Hay varios modelos de coordinación de acciones entre agentes, pero dos principales (que se mencionan a continuación) y gran cantidad de modelos intermedios.

- **Coordinación Global:** Cuando el SMA determina y planifica globalmente las acciones de los diferentes agentes.
- **Coordinación Individual:** Cuando el SMA le da completa autonomía a los agentes, es decir, cada agente decide qué hacer y resuelve localmente los conflictos que detecte con otros agentes.

Además de los modelos existen dos tipos de coordinación :

- **Coordinación orientada por los problemas:** En este tipo de coordinación, los agentes deben coordinar los planes de realización de acciones para prevenir interbloqueos, repetición de acciones y creación de inconsistencias.
- **Coordinación orientada por la Cooperación:** En este tipo de coordinación los agentes no se coordinan a nivel de planes, sino a nivel de acciones. Esto significa que los agentes se coordinan en el momento de ejecutar acciones

### 3.4 Negociación

Para que los mecanismos de cooperación y coordinación sean exitosos en un sistema de agentes que actúan interdependientemente, debe existir un mecanismo adicional, por medio del cual, los integrantes de un sistema se puedan poner de acuerdo cuando cada agente defiende sus propios intereses, llevándolos a una situación que los beneficie a todos teniendo en cuenta el punto de vista de cada uno. Este mecanismo es llamado negociación. Los procesos de negociación tienen como resultado la modificación o confirmación de las creencias de cada agente involucrado, en lo relacionado con los demás agentes y con el mundo en el que se desenvuelve.

La negociación se puede mirar bajo una perspectiva racional, la cual describe la negociación como un proceso de seis pasos

- Definir el problema.
- Identificar aspectos.
- Ponderar criterios.
- Generar alternativas.
- Evaluar alternativas.
- Formular solución.

## 4 APLICACION

El control es el mecanismo básico que provee apoyo para la implementación de mecanismos de coordinación en un SMA. El control se relaciona directamente con :

- Determinar cuáles son las subtareas más importantes a realizar en un momento dado.
- Determinar qué contexto (resultados intermedios de otros agentes) deben ser usados en la solución de una subtarea.
- Estimar el tiempo de generación de la solución a una subtarea.
- Evaluar si la solución de un problema ha sido generada. (Problema de la terminación).

El control puede ser considerado desde dos puntos de vista : control global y control local. El control global se relaciona con tomar decisiones basándose en datos obtenidos y consolidados a partir de la información de todos los agentes del sistema, el control local se relaciona con tomar decisiones basándose solo en datos locales. Estos dos controles deben ser balanceados por varias razones :

- El aumento del poder de control local lleva a que los agentes actúen eficientemente desde el punto de vista "rapidez en la toma de decisiones y en la ejecución de tales decisiones". Pero, se puede llegar a la pérdida de mecanismos de cooperación efectivos y como consecuencia a la realización de tareas no deseables.
- El aumento del poder del control global lleva a aumentar los costos de computación del sistema, porque la información de los agentes cambia dinámicamente, como consecuencia para mantener información global coherente, se deben revisar e incorporar constantemente los cambios en cada uno de los agentes.

## 5.CONCLUSIONES

En cada uno de los temas relacionados con agentes y SMA se puede profundizar tanto como se quiera, pero a veces se llega a problemas que no son relevantes en el contexto de SMA. Lo importante, es entender que la noción de agente es tan amplia o tan reducida como se quiera y/o se necesite. Una de las características más importantes de un SMA es que el grupo de agentes que lo integran debe trabajar de manera cooperativa e individual. Los agentes trabajan de manera cooperativa para satisfacer las metas globales que se derivan de la búsqueda de las soluciones a los problemas globales y de manera individual, porque las metas globales son descompuestas en submetas, generando metas locales para los agentes que participarán en el desarrollo de las soluciones a los problemas. Cuando dos o más entidades trabajan en grupo, se presentan conflictos de intereses de manera natural. Es necesario que el ambiente en el que se desenvuelven provea procesos para la resolución de tales conflictos.

En este documento se propone como mecanismo básico para manejar este aspecto, la negociación en grupo. Algunas de estas tareas de decisión están caracterizadas por las relaciones cooperativas entre los miembros del grupo, en las cuales los individuos trabajan por el desempeño del grupo en general; o por relaciones competitivas en las cuales los miembros del grupo plantean posiciones definidas y discuten entre sí, defendiendo sus propios intereses. Un SMA es un sistema distribuido, por ello, en él nunca se cuenta con información global consolidada totalmente actualizada. Por esta razón, los agentes deberían reevaluar las decisiones tomadas, a la luz de cada nueva información obtenida, generando sobrecostos de comunicación.

Es importante que los mecanismos de negociación y control sean coherentes con las necesidades de los sistemas a los que pertenecen, es decir, ser sofisticados si el sobre costo generado

es menor que el sobrecosto generado con la implementación de un SMA sencillo, para la resolución de un problema.

## **6. BIBLIOGRAFIA**

- [1] Albin, C.; 1992. Fairness Issues in Negotiation: Structure, Process, Procedures and Outcome. IIASA.
- [2] Bazerman, M., Neale, M. ; 1993. La Negociación Racional. Paidós Empresa 20.

- [3] Ephrati, Eithan. Rosenschein, Jeffrey. ; 1995. Multi-Agent Planning as a Dynamic Search for Social Consensus
- [4] Flores, Carlos Fernando. ; 1982. Management and Communication in the Office of the Future.
- [5] Labidi, S. y Lejouad, W. ; 1993. De l'Intelligence Artificielle Distribuée aux Systèmes Multi-Agents.