

META-MODELO DE COORDINACIÓN DE TAREAS PARA SISTEMAS MULTIAGENTE

Caso de estudio: Control de un Robot Móvil

DEMETRIO ARTURO OVALLE

Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, Medellín

FERNANDO ANTONIO PÉREZ

Universidad de Antioquia, Medellín

Recibido para revisión 4 Septiembre 2000; aceptado 19 Noviembre 2000, versión final recibida 27 agosto 2001

RESUMEN: El meta-modelo de coordinación que se propone, pretende modelar las características más relevantes de los agentes como entidades individuales y además ser lo suficientemente amplio para cubrir los aspectos de cooperación, comunicación y control, que aparecen cuando los agentes se agrupan formando un sistema. Además de modelar cada agente, se deben especificar las relaciones estáticas establecidas dentro de la organización, los grupos que se forman y su funcionalidad, las tareas que se deben realizar y las secuencias en que se deben ejecutar, las relaciones dinámicas que permiten la interacción mediante un lenguaje de comunicación entre los agentes, las interacciones permitidas y las normas que rigen dichas interacciones. Las especificaciones se separan en diferentes modelos, de manera que al integrarse presenten un sistema coordinado con un comportamiento coherente y eficiente. El modelo que se propone se aplica al control del minirobot Khepera mediante un lenguaje de comunicación y programación orientado a agentes.

PALABRAS CLAVES: Inteligencia Artificial Distribuida, Sistemas Multiagente, Coordinación de Tareas, Trabajo Cooperativo, Control de Procesos en Robótica.

ABSTRACT: In this paper we propose a multi-agent coordination meta-model which aims at modeling more relevant characteristics of agents as individual entities and also be enough large to cover issues such as cooperation, communication and control that result when they work in a group. Beside of modeling each agent it is require to specify following issues: static relationships established within the organization, groups of agents, functionality, tasks to be accomplish and order of execution, dynamic relationships which allow interactions among agents, etc. Specifications are separated in different models to offer a coherent and efficient behavior of the multi-agent system. This model was applied to Khepera micro robot through a multi-agent oriented communication and programming language.

KEYWORDS: Distributed Artificial Intelligence, Multi-agent Systems, Task Coordination, Cooperative Work, and Process Control in Robotics.

1 INTRODUCCIÓN

La actividad de un sistema multiagente se puede ver de manera análoga a como se ve la actividad de un grupo de personas, con diferentes dominios de conocimiento, tratando de resolver un problema común. Para soportar la interacción del grupo se debe prestar atención a tres aspectos fundamentales: La comunicación, la cooperación y la coordinación. La efectividad de la comunicación y la cooperación se pueden mejorar si las actividades del grupo están coordinadas. El problema de la coordinación es lograr una integración y un ajuste armonioso de los esfuerzos de trabajo in-

dividual, en beneficio del cumplimiento de una meta común (Singh, 1989).

En un sistema multiagente, las actividades se asignan a los agentes dotándolos del conocimiento y las habilidades necesarias para realizar su tarea. Los agentes actuarán de manera racional, intencional y autónoma en el momento preciso.

Al comienzo se presentan los aspectos teóricos generales acerca de los agentes. Luego se describen las organizaciones que forman los agentes cuando se agrupan para formar un sistema y posteriormente se plantean los diferentes modelos que componen el meta-modelo general de coordinación de tareas para sis-

temas multiagente, ilustrando cada uno con un ejemplo concreto.

2 AGENTES Y SISTEMAS MULTIAGENTES

Entre las diferentes definiciones sobre lo que es un agente, no hay una ontología común, es decir, no hay un conjunto estructurado de conceptos, sobre lo que es un agente (*Marcenac and Giroux, 1998*). Sin embargo, se pueden resaltar algunos elementos comunes en los cuales se centra su identidad, para decir en términos generales que un agente es una entidad computacional autónoma y dinámica, que actúa de manera racional e intencional.

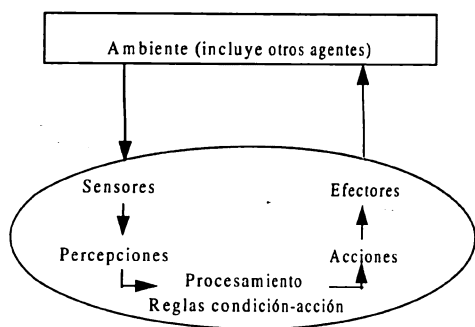


Figura 1. Representación grafica de un agente.

ilustra en la Figura 1. Los agentes humanos tienen ojos, oídos y otros órganos que les sirven de sensores, así como manos, piernas, boca y otras partes de su cuerpo que les sirven de actuadores. En el caso de los agentes robóticos, los sensores son sustituidos por cámaras y telémetros infrarrojos, y los actuadores son reemplazados mediante motores. En el caso de un agente de software, sus percepciones y acciones vienen a ser las cadenas de bits codificados (*Rusell y Norving, 1995*).

Otra definición según Pattie Maes, investigadora del MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), es que los agentes de software son programas que emplean técnicas desarrolladas en el campo relativamente joven de la vida artificial, cuyos practicantes estudian los mecanismos por los que los organismos se organizan ellos mismos y se adaptan en respuesta a su ambiente. Su software está diseñado para que con autonomía, cambien su comportamiento basados en las experiencias y las interacciones con otros agentes (*Maes, 1998*).

La tecnología de agentes tradicionalmente distingue entre agentes reactivos y agentes cognitivos. Los agentes reactivos operan únicamente respondiendo a estímulos, sin incluir ningún conocimiento avanzado ni razonamiento complejo, mientras que los agentes cognitivos tienen una representación simbólica y explícita de su ambiente y de sus capacidades de razonamiento.

La estructura y complejidad de cada una de las componentes de un agente, varía de acuerdo con el ti-

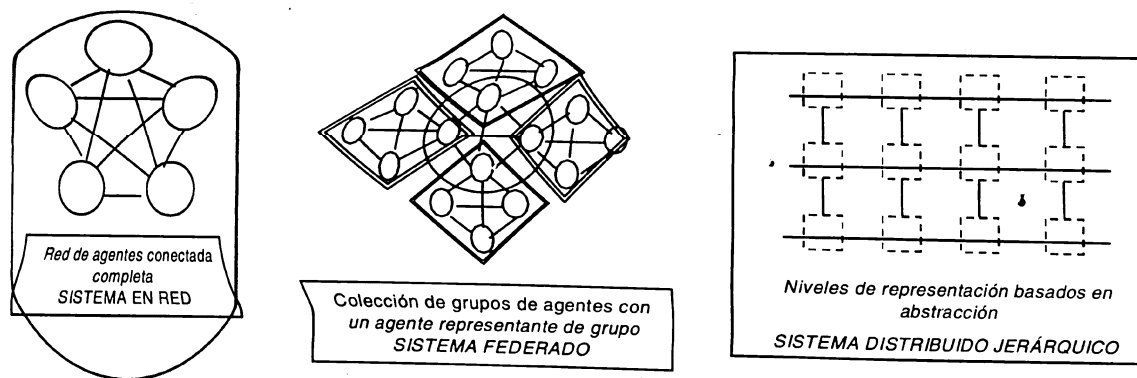


Figura 2. Arquitecturas organizacionales simples de sistemas multiagentes

Según (*Rusell y Norving, 1995*), un agente es todo aquello que puede considerarse que percibe su ambiente mediante sensores y que responde, o actúa en tal ambiente, por medio de actuadores, tal como se

po de agente y con el nivel de elaboración con el cual el agente haya sido diseñado. Así, un agente puramente reactivo, o de reflejo simple, podrá tener componentes de percepción y ejecución más o

menos complejas, pero la componente que procesa las percepciones deberá ser relativamente sencilla, de manera que pueda producir rápidamente una respuesta apropiada. A su vez, un agente cognitivo tendrá, al menos, la componente de procesamiento de percepciones con cierto grado de complejidad, de manera que haga buen uso del conocimiento que él mismo posee y también del que los demás agentes tienen, para escoger la mejor opción entre las diferentes alternativas de respuesta posibles.

En la medida en que un agente se va haciendo más complejo, las componentes básicas se van refinando y van apareciendo componentes nuevas y adicionales con diferentes relaciones entre ellas, tratando de representar con mayor precisión la estructura de funcionamiento y operación del agente.

Los agentes adquieren una nueva dimensión cuando se les agrupa, formando sistemas completos, en los cuales se organizan y se relacionan de alguna manera mediante comunicación indirecta a través del ambiente, o por medio de comunicación directa interactuando entre ellos, compartiendo conocimiento, influenciando las decisiones de los demás agentes y haciendo compromisos con los otros. Los sistemas se componen a partir de la arquitectura básica de un agente, tomando diferentes formas de organización de acuerdo con las relaciones entre ellos y los roles que se les asignan dentro del sistema.

Cada sistema multiagente tiene una arquitectura organizacional que destaca la funcionalidad de los agentes envueltos en el sistema. Un rol organizacional de agentes, responde por los agentes a las siguientes preguntas: ¿Qué clase de tareas estarán preparados los agentes para enfrentar?, ¿De qué recursos deben disponer los agentes?, y ¿De cuáles compromisos de funcionamiento es responsable el agente? (Decker and Lesser, 1995).

Entre la diversidad de arquitecturas para sistemas multiagente que existen, se pueden mencionar algunas que presentan estructuras organizacionales fijas, bien definidas y que han sido propuestas a manera de arquitectura general de sistemas multiagente para ser aplicadas en sistemas distribuidos del mundo real (Figura 2), tales como: árbol de agentes n-ario completo, red de agentes completamente conectada, colección de grupos de agentes completamente conectados (Lejter and Dean, 1996) y niveles de representación basados en el principio de abstracción (Boissier and Demazeau, 1991). Estos arreglos simples de agentes constituyen la base de una progresión para formar arreglos de agentes más complejos.

Sin embargo, la estructura organizacional que adopta un sistema multi-agente, está íntimamente

relacionada con la resolución del problema, lo cual permite crear igualmente formas diversas no-fijas de agrupación.

3 LA COORDINACION EN LOS SISTEMAS MULTIAGENTE

El estado del arte de los modelos de programación en paralelo (Schumacher et al., 1998), tales como modelos de memoria compartida, paralelismo de tareas y datos, y modelos paralelos orientados a objetos se usan para la implementación de aplicaciones distribuidas de propósito general, pero tienen limitaciones cuando se trata de separar claramente la parte computacional de una aplicación en paralelo y la parte que coordina todo el cubrimiento del programa distribuido. La Inteligencia Artificial Distribuida propone el modelo de los sistemas multiagentes para resolver este problema, mediante la coordinación de tareas.

3.1 Definición

La coordinación se puede definir como el proceso mediante el cual los agentes participan con el fin de asegurar que una comunidad de agentes individuales actúen de manera coherente, en el sentido de que los agentes se comporten como una unidad y no presenten conflictos entre ellos (Nwana et al., 1994). Otra definición en términos más generales es la que se hace en (Malone, 1987) al decir que la coordinación es el proceso de manejar dependencias entre actividades.

3.2 Necesidad de la coordinación

Según la definición anterior de coordinación, se puede decir que cuando se coordina el accionar de un grupo de agentes que componen una comunidad, lo que se pretende es que los agentes participen de las acciones de manera tal, que la sociedad que ellos forman, se comporte de manera coherente, es decir, que el sistema se comporte como una unidad.

Hay muchas razones por las que un grupo de agentes debe estar coordinado en sus acciones (Nwana et al., 1994):

- Prevención de la anarquía o el caos. En los sistemas descentralizados, cada agente tiene sus propias metas y ninguno de ellos tiene una visión global del sistema completo, por lo que se pueden presentar diversos conflictos que los lleven a situaciones anárquicas.
- Satisfacer restricciones globales. En los sistemas

que actúan en tiempo real es común encontrar restricciones para la ejecución de las tareas, de manera que la respuesta a un evento debe darse dentro de un cierto tiempo, limitado, para que ésta sea oportuna.

- Manejar de manera distribuida experiencia, recursos e información. Un agente actuando aisladamente no siempre consigue la solución a un problema, pero cuando cada uno de los agentes aporta lo que sabe y es capaz de hacer, entonces entre un grupo de agentes se pueden reunir las habilidades, los recursos y la información necesarias para llegar a la solución.
- Manejar acciones con dependencias entre agentes. En el entorno de operación de un robot, por ejemplo, el agente que mueve un brazo se debe ubicar en el sitio adecuado para que el agente que mueve una pinza de agarre pueda cerrarla y sujetar un objeto.
- Eficiencia. Aún en el caso en que los agentes pudieran actuar de manera independiente, el hecho de hacerlo de manera coordinada puede reportar beneficios adicionales al funcionamiento global del sistema. Por ejemplo, cuando el cuerpo del robot se dirige hacia un objeto para levantarlo, es deseable que el brazo ya se encuentre levantado y que las pinzas de agarre se hayan abierto, antes de llegar a la posición en la cual se puede agarrar el objeto.

El propósito de un proceso de coordinación es tener un equipo de agentes que funciona de manera coherente, en el cual no se presentan situaciones de bloqueo mutuo donde dos o más agentes llegan a un estado en que entre ellos mismos no se permiten cambiar de estado. Tampoco se pretende llegar a situaciones de círculos viciosos, en las cuales los agentes interactúan de forma continua sin lograr avanzar hacia una meta definida. Un sistema de múltiples agentes coordinado explota al máximo las capacidades individuales de los agentes y minimiza los conflictos entre ellos. Un sistema coherente minimiza o evita los conflictos y los esfuerzos redundantes entre los agentes.

3.3 Elementos de un modelo de coordinación de tareas

En la coordinación como un proceso para manejar dependencias entre actividades, se hace necesario, como proponen en (*Kielmann and Wirtz, 1996*), identificar claramente y luego separar, las dos partes de una aplicación en paralelo, es decir, la computación y la coordinación. Cada una de estas dos partes, afecta continuamente a la otra y esto dificulta la comprensión de

las aplicaciones distribuidas, por lo que en el diseño de un modelo de coordinación, los elementos que lo componen, se desarrollan en varias iteraciones en forma de espiral.

Por lo anterior, se propone en este artículo, un meta-modelo (modelo de modelos) general de coordinación de tareas para sistemas multiagente (*Pérez, 2000*), el cual se compone de varios modelos: Un modelo de agentes, donde se describen las características más relevantes de cada agente. Un modelo de la organización, que muestra las relaciones estáticas entre los agentes, y grupos de agentes, del sistema. Un modelo de tareas que expresa las relaciones e interdependencias entre las actividades para alcanzar un objetivo. Un modelo de comunicaciones, basado en las conversaciones, en el que se detallan las interacciones entre los agentes y grupos de agentes, expresando sus relaciones dinámicas y mostrando los posibles intercambios de información y servicios, los cuales a su vez, determinan los canales de comunicación permitidos. Adicionalmente, se deben especificar las técnicas de coordinación empleadas tanto en cada grupo de agentes como entre los diferentes grupos que conformen el sistema. Un modelo de la experiencia donde se especifican las tareas en las que se requiera aplicar técnicas de adquisición de conocimiento. También contiene el modelo, un conjunto de técnicas de coordinación describiendo las leyes que rigen las interacciones entre los agentes de acuerdo con la estructura que ellos formen al agruparse, o según el rol que les corresponda dentro de la organización del sistema. Finalmente, se propone incluir dentro de la especificación del modelo, las herramientas de coordinación que se espera faciliten la fase de diseño y posteriormente, también la implementación del sistema multiagente. Una descripción más detallada de la estructura de cada modelo y su utilización será presentada a continuación, a través del caso de estudio de un robot móvil recolector de objetos.

Un Modelo de las Comunicaciones basado en las conversaciones entre los diferentes agentes, o grupos de agentes; y la especificación de las técnicas de coordinación empleadas tanto en cada grupo de agentes como entre los diferentes grupos que conformen el sistema.

4 ROBOT RECOLECTOR DE OBJETOS, BASADO EN AGENTES

El minirobot Khepera mostrado en la Figura 3, se compone de varios módulos: El módulo base, el módulo del brazo y el módulo de visión (*K-Team, 1998*). El módulo base está dotado de: Dos ruedas, una al

lado derecho y la otra al lado izquierdo, con motor propio cada una, lo cual le permite controlar de manera independiente la

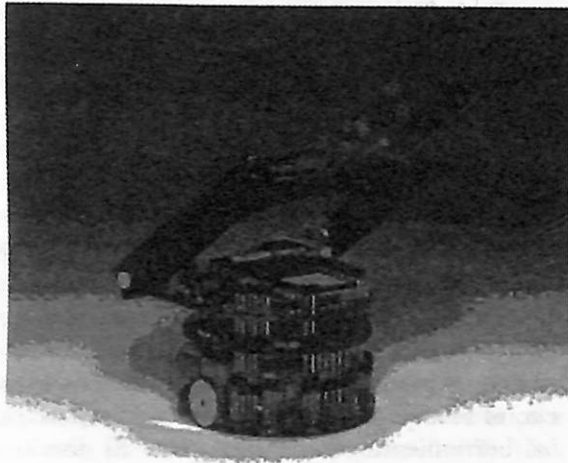


Figura 3. Robot Khepera.

la pinza. Finalmente, el módulo de visión, llamado también visor, puede leer una imagen, o un subconjunto de una imagen, compuesta por sesenta y cuatro puntos lineales, es decir, puede ver una línea recta formada por sesenta y cuatro puntos adyacentes.

Puesto que un robot como Khepera está compuesto por partes bien diferenciadas en cuanto a su ubicación geográfica, sus características físicas y su funcionalidad, se facilita la representación de esas partes mediante agentes, con la posibilidad de dotar a cada parte de un conocimiento propio, capacidades particulares, compromisos de acuerdo con sus capacidades, metas locales y conservar sus condiciones de independencia y autonomía en su accionar. También se logra distribuir la solución del problema, aplicar diferentes métodos de solución de problemas según sea la función específica de cada agente y además, la depuración y mantenimiento del sistema se puede hacer por partes más simples.

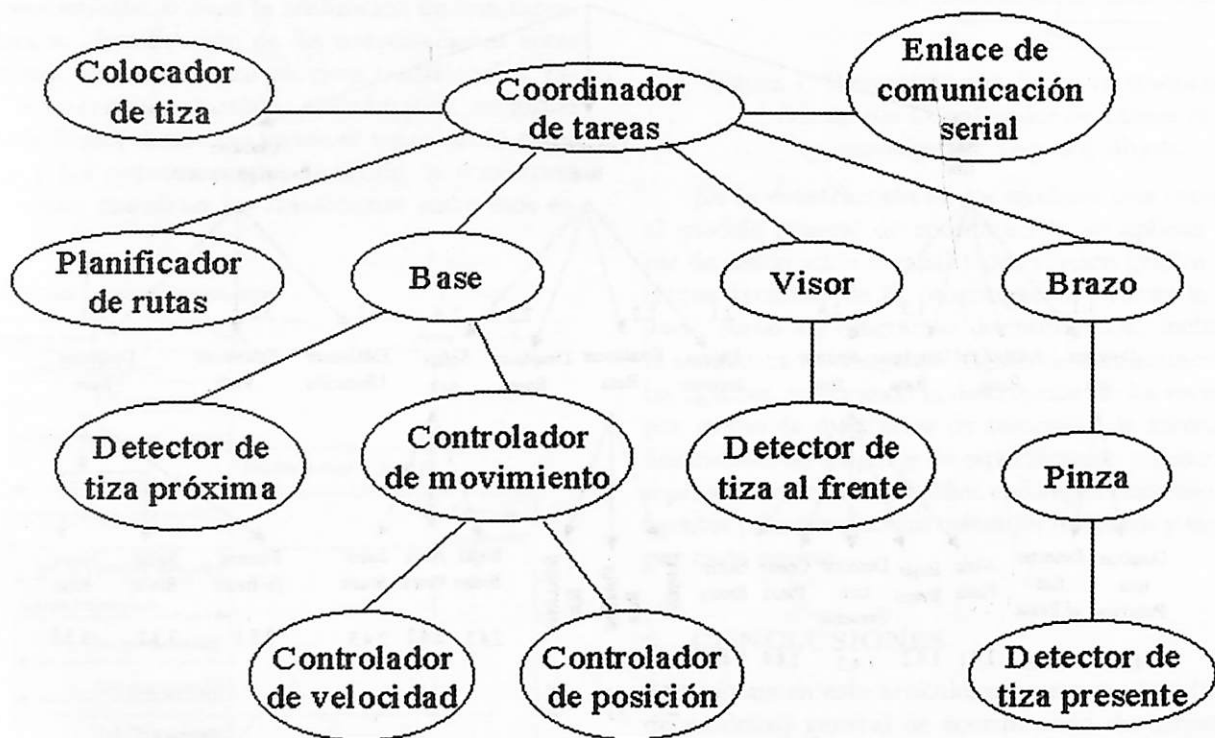


Figura 4. Representación gráfica del modelo de la organización.

posición a alcanzar y la velocidad de desplazamiento; ocho sensores de proximidad, los cuales pueden ser leídos simultáneamente, pero cada uno de ellos reporta un valor independiente de los otros. A través de este módulo Khepera puede desplazarse y detectar la proximidad de tizas. El módulo del brazo puede: Girar, abrir y cerrar una pinza, y detectar la presencia de una tiza que se encuentre entre los extremos de

El modelo de la organización, Figura 4, muestra el papel que juega cada agente dentro del sistema, sus responsabilidades y sus conexiones con los demás.

Algunas de las partes del robot tienen la función de responder inmediatamente cuando se les da un determinado estímulo, como los agentes detectores de objetos que cuando detectan la presencia de una objeto, deben informar inmediatamente al agente Coor-

dinador de tareas la ocurrencia de tal evento; estas partes del robot se representan mediante agentes reactivos. Otras partes del robot tienen asignadas algunas funciones que requieren de la aplicación de ciertas normas, o reglas, para determinar cuál debe ser su comportamiento en un momento dado de acuerdo con las condiciones actuales, los eventos que se suceden en su entorno, las relaciones con las otras partes del robot y sus propias restricciones; estas partes se representan mediante agentes cognitivos, traduciendo las condiciones actuales en el estado mental del agente, las relaciones con otros agentes en compromisos e interacciones usando el lenguaje de comunicación entre agentes y sus restricciones en reglas de comportamiento. Adicionalmente, este tipo de agentes pueden tener metas y control locales, o propios, y conocimiento acerca de sí mismo y de las capacidades de los demás.

sistema y permitiendo la interacción a través de los diferentes niveles de agentes para la ejecución de las tareas.

En la Figura 5, se muestra el diagrama de las tareas del sistema, las cuales se asignan a los agentes, y por lo tanto, estos deben estar dotados de las habilidades necesarias para ejecutarlas.

Se asume que las tareas se ejecutan en la secuencia especificada por la numeración que tienen, con excepción de las tareas unidas mediante una línea horizontal doble, las cuales se pueden ejecutar en forma paralela.

El modelo de Coordinación de tareas para el sistema multiagente, se desarrolla a través de la construcción del modelo de agentes, el modelo de la organización, el modelo de tareas, el modelo de la experiencia, el modelo de comunicación y la especificación de las herramientas de coordinación. El diseño de los modelos se propone a partir de una visión del sistema

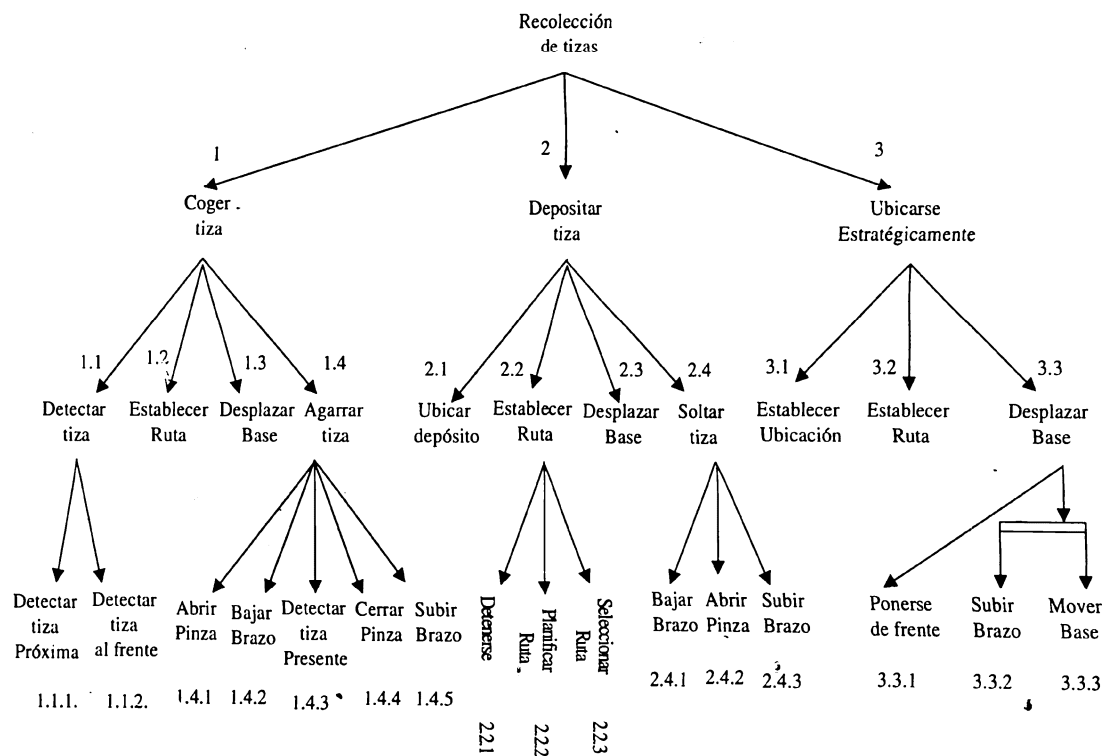


Figura 5. Diagrama de tareas

Estos agentes se organizan en una estructura donde el control global está centralizado en un agente Coordinador de tareas, y a la vez se distribuye la ejecución de las tareas programadas en otros niveles de agentes, hasta llegar a los agentes de bajo nivel, como los detectores de presencia de objetos, formando un sistema multiagente con una red de enlaces de comunicación que soporta el cubrimiento completo del

compuesto por agentes como las entidades básicas, los que se pueden comunicar entre sí por medio de mensajes tipificados, utilizando el lenguaje de comunicación entre agentes KQML (*Knowledge Query and Manipulation Language*), el cual reúne un conjunto de primitivas con un amplio espectro de acciones y mantiene oculta la semántica del contenido de los mensajes, de manera que la interpretación del

contenido de un mensaje pasa a ser un problema particular del agente al que le interesa (Finin et al., 1997).

La estructura del lenguaje de comunicación entre agentes KQML separa de manera clara los aspectos fundamentales de la comunicación, en tres capas: la capa de contenido, la capa de mensaje, y la capa de comunicación; logrando reducir la complejidad del manejo simultáneo de los problemas inherentes a cada una de ellas. Así, cuando se adopta el KQML como el lenguaje de comunicación entre los agentes de un sistema, el diseño del modelo se dedica a describir cuáles primitivas y con qué contenido, se aplican en cada interacción.

Una conversación se realiza para cumplir un objetivo y puede transcurrir con diferentes escenarios e intervenciones, (como se ve en las Figuras 6 y 7). Una conversación la inicia un agente porque necesita ayuda o porque la proporciona. Un agente puede responder a una conversación para suministrar ayuda, intercambiar conocimiento, o para la realización de una tarea.

Para la identificación de las conversaciones entre los agentes, se pueden usar técnicas tradicionales, casos de uso internos, y también diagramas de máquinas de estado finito, donde las tareas se representan como estados y las conversaciones, haciendo de conectores entre tareas, muestran las transiciones entre esos estados.

Diagrama MSC para la Conversación sujeción tiza

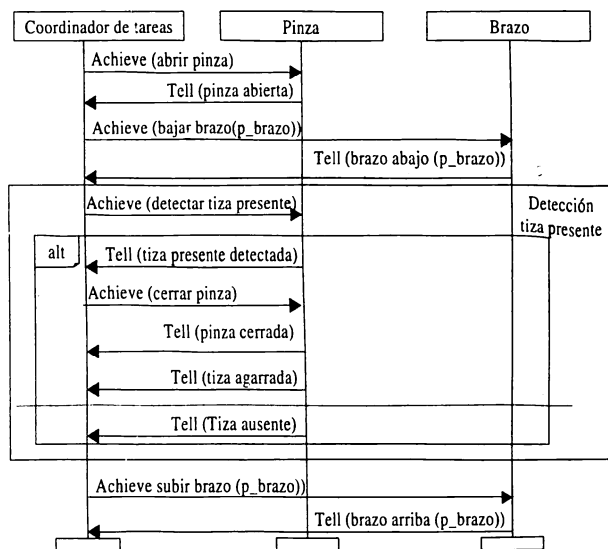


Figura 6. Diagrama de interacción para la conversación 'Sujeción objeto'

Para la identificación de las conversaciones entre los agentes, se pueden usar técnicas tradicionales, casos de uso internos, y también diagramas de máquinas

de estado finito, donde las tareas se representan como estados y las conversaciones, haciendo de conectores entre tareas, muestran las transiciones entre esos estados.

SDL de la conducta del agente Coordinador de tareas en la conversación sujeción tiza



Figura 7. Representación de las intervenciones del agente Coordinador de tareas en la conversación 'Sujeción objeto'.

En la construcción de los modelos que componen al modelo general de coordinación, se aplican técnicas de descripción textual y descripción gráfica, se incluyen técnicas de la programación orientada a objetos, como los diagramas de interacción, incluyendo la semántica del lenguaje KQML de comunicación entre agentes, mejorando la descripción de los escenarios por medio de diagramas de secuencia de mensajes, y finalmente, un lenguaje de especificación y descripción representa de manera gráfica el comportamiento de los agentes para precisar los mensajes recibidos y enviados por cada agente.

5 CONCLUSIONES

Se propone en este artículo, un meta-modelo (modelo de modelos) general de coordinación de tareas para sistemas multiagente, conteniendo los siguientes siete elementos básicos: Modelo de agentes, modelo de la organización, modelo de tareas, modelo de las comunicaciones, modelo de la experiencia, técnicas de coordinación para sistemas multiagente, y herramientas del modelo de coordinación. Este meta-modelo se aplicó sobre un robot compuesto por partes bien diferenciadas, con sus propias características físicas y funcionalidad, representando esas partes mediante agentes dotados de un conocimiento propio, capacidades particulares, compromisos, metas locales, y conservando sus

condiciones de independencia y autonomía. También se logra distribuir la solución del problema para que los agentes cooperen tratando de alcanzar un objetivo común.

El modelo de coordinación propuesto, hace uso de la técnica de coordinación mediante planificación multiagente centralizada. Se puede observar, por ejemplo, que el agente Coordinador de tareas ocupa un lugar de supremacía dentro de una estructura jerárquica, pero que a la vez, en algunos niveles de esa jerarquía se encuentran agentes organizados, y la ejecución de una tarea se distribuye para alcanzar una meta común.

Como trabajo futuro, cabe señalar que se debe complementar este modelo de coordinación con un lenguaje formal, textual y gráfico, de especificación de los requerimientos de coordinación, que permita expresar y verificar la coherencia al migrar un modelo a otro. Para esto, se propone inicialmente, definir una notación gráfica que mediante símbolos, facilite la construcción de los modelos y mejore la expresividad de un lenguaje textual de coordinación.

REFERENCIAS

- Boissier, O. and Demazeau, Y., *A Distributed Artificial Intelligence View on General Purpose Vision Systems*, MAAMAW, 1991.
- Decker, K. and Lesser, V., *Designing a Family of Coordination Algorithms*, en url: <ftp://ftp.cs.umass.edu/pub/lesser/decker-94-14.ps>, 1995.
- Finin, T. et al., *KQML as an Agent Communication Language*, Computer Science Department, University of Maryland Baltimore county, Baltimore MD USA, en Internet url: <http://www.cdee.umbc.edu/kqml/papers>, 1997.
- Kielmann, T. and Wirtz G., *Coordination Requirements for Open Distributed Systems*, en Proceedings of PARCO'95. Elsevier, 1996.
- K-Team, S., *Khepera User Manual*, Version 5.0, Lausanne 15 de Mayo de 1998.
- Lejter, M., Dean T., *A Framework for the Development of Multiagent Architectures*, IEEE Expert Intelligent Systems. December 1996, Volume 11, Number 6, December 1996.
- Maes, P., MIT Media Laboratory, *Intelligent Software: Easing the Burdens that Computers Put on People*, 1998.
- Malone, T., *Modeling Coordination in Organizations and Markets*, Management Science, 33(10):1317-1332, 1987.
- Marcenac, P. and Giroux S., *GEAMAS: A Generic Architecture for Agent-Oriented Simulations of Complex Processes*, Applied Intelligence, Volume 8, Number 3, May/June 1998.
- Nwana, H., Lee L. and Jennings, N., *Coordination in Software agent Systems*, en Internet url: <http://www.labs.bt.com/projects/agents/publish/papers/coordination.htm>, 1994.
- Pérez, F., *Meta-modelo de coordinación de tareas para sistemas multi-agente en ambientes de trabajo cooperativo*. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, 2000.
- Russell, S. y Norving, P., *Inteligencia Artificial Un enfoque Moderno*. Editorial Pentence Hall Hispanoamericana S.A., Santafé de Bogotá, Colombia, 1995.
- Schumacher, M., Chantemargue, F., Krone, O. and Hirsbrunner, B., *STL++: A Coordination Language for Autonomy-based Multi-Agent Systems*, en Internet url: <http://www.iiuf.unnifr.ch/pai/axe/AmocPapers/.rep-march98/>, 1998.
- Singh, B. "Invited talk on coordination systems at the Organizational Computing Conference". November 13-14, Austin Texas, 1989.