

Roles y Relaciones en una Organización de Agentes BDI

Sonia V. Rueda

Guillermo R. Simari

svr@cs.uns.edu.ar

grs@cs.uns.edu.ar

Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Artificial

Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación

Universidad Nacional del Sur

Av. Alem 1253, (8000) Bahía Blanca, Argentina

Abstract

Este trabajo propone un modelo de agentes que adopta elementos de las organizaciones humanas. Estos elementos no se circunscriben al diseño de la aplicación sino que quedan representados en la implementación. La propuesta describe cómo la especificación explícita los roles y relaciones puede restringir las formas de interacción dentro de una organización de agentes y de esta manera favorecer el proceso de negociación.

KEYWORDS: Multiagent Systems, Autonomous Agents, Argumentation, Negotiation, BDI Model, Collaborative Interaction, Roles.

1 Introducción

El modelo de agentes ofrece una metáfora poderosa para conceptualizar aplicaciones de diferentes dominios. Bajo esta metáfora, un agente es una entidad cognitiva con capacidad para razonar a partir de su conocimiento acerca del mundo. La tecnología de agentes brinda metodologías y técnicas para soportar la construcción de estas aplicaciones.

La capacidad de un agente es restringida, mantiene una visión parcial de su entorno y tiene habilidades limitadas para modificarlo. Con frecuencia la complejidad de las aplicaciones supera las posibilidades de un agente individual y demanda la construcción de un sistema multiagente. La funcionalidad requerida puede estar distribuida entonces entre componentes especializadas, responsables de atender diferentes aspectos. Cada agente está dotado de cierto nivel de autonomía que le permite decidir acerca de su propio comportamiento. Los miembros del sistema pueden tener una meta común y un comportamiento cooperativo o bien poseer metas individuales y actuar de acuerdo a sus propios intereses.

En este trabajo nos concentramos en el caso particular de agentes con una actitud cooperativa. En un ambiente cooperativo la metáfora se extiende para incorporar características de las organizaciones humanas. Una organización de agentes no es simplemente un conjunto de entidades cognitivas con objetivos compartidos, sino una estructura dentro de la cual los

participantes están ligados a través de roles y relaciones. Aunque los objetivos globales son compartidos, cada individuo va a tener asignadas metas propias y para alcanzarlas debe interactuar y coordinar sus acciones con los demás miembros.

Probablemente la primera metáfora desarrollada a partir de la teoría de las organizaciones fue el protocolo de red por contrato, en el cual un agente que cumple el rol de manager recibe propuestas de otro que cumple el rol de oferente [12]. El concepto de organización subyace de alguna manera en otros modelos desarrollados a partir de la metáfora de agentes, algunas veces de forma intuitiva y restringida al diseño de las aplicaciones, sin que se explicita en la construcción.

Este trabajo propone un modelo de agentes que adopta elementos de las organizaciones humanas. Estos elementos no quedan circunscriptos al diseño de la aplicación, sino que tienen una representación explícita en la implementación. La propuesta describe cómo la representación explícita los roles y relaciones pueden restringir las formas de interacción dentro de una organización de agentes y de esta manera favorecer el proceso de negociación.

La primera sección de este trabajo presenta el marco conceptual en el que se basa la propuesta. La siguiente sección describe tres de los principales aspectos que determinan la complejidad del proceso de negociación. A continuación se argumenta acerca de cómo la especificación de roles y relaciones permite reducir la complejidad que provoca cada uno de estos aspectos, para describir luego las propiedades fundamentales de los roles en una organización de agentes. Se propone luego una alternativa concreta para representar roles y relaciones y un protocolo de interacción elaborado a partir de esta propuesta. Por último se presentan algunas conclusiones y se delinea el trabajo futuro.

2 El modelo BDI

Un agente puede definirse como una entidad computacional capaz de percibir, reaccionar y actuar sobre un entorno. Un agente racional agrega a sus capacidades perceptivas, reactivas y efectoras, cierto nivel de razonamiento práctico que le permite seleccionar la acción más adecuada a partir de su conocimiento respecto a sus metas y al estado del entorno en el que se haya situado. Es decir, la capacidad cognitiva del agente es la que le permitirá actuar adecuadamente en cada contexto particular.

El razonamiento práctico involucra dos procesos fundamentales: decidir qué metas van a perseguirse y elegir un plan que establezca cómo alcanzarlas. El proceso de decisión requiere considerar un espectro de opciones alternativas, seleccionar algunas de ellas y comprometerse a cumplirlas. Las opciones elegidas conforman las intenciones del agente, influyen en sus acciones, restringen el razonamiento práctico futuro y persisten de alguna manera en el tiempo. El proceso de planificación consiste en elegir un conjunto de acciones que le permitan satisfacer sus intenciones.

Un agente modifica sus intenciones cuando decide que no va a poder alcanzarlas o desaparecen las razones que provocaron que fueran elegidas entre otras alternativas. En este sentido las intenciones de un agente están ligadas a sus creencias, a su conocimiento acerca de lo que cree que está dentro de sus posibilidades.

Los modelos de creencias, deseos e intenciones (BDI) basados en el razonamiento práctico, brindan los elementos esenciales para representar la actitud mental de un agente racional que

actúa en un ambiente dinámico, sujeto a cambios bruscos y frecuentes [1], [8]. Las creencias conforman el conocimiento del agente acerca del entorno que lo rodea. Sus deseos e intenciones se refieren al estado que desea alcanzar y representan sus motivaciones y compromisos. Un agente BDI elabora un plan considerando sus creencias acerca del mundo, sus intenciones respecto al estado deseado y sus habilidades para transformarlo.

En este trabajo las habilidades están asociadas a *acciones* que tienen *precondiciones* y *consecuencias*. Un agente puede ejecutar una acción sólo si sus creencias aseguran que se satisfacen las precondiciones. Su aplicación provoca consecuencias que pueden modificar las creencias, generándose una interacción dinámica y continua.

Un plan es una secuencia de acciones que al ejecutarse provocan un cambio en el conocimiento acerca del entorno. Para la elaboración de un plan usamos el formalismo basado en argumentación propuesto en [5]. Este formalismo consiste en construir una garantía para la intención comprometida.

En [9] un agente argumentativo BDI se define como una tupla $\mathbf{a} = \langle \mathcal{B}, \mathcal{D}, \mathcal{I}, \Gamma \rangle$, donde \mathcal{B} representa las *creencias* del agente, \mathcal{D} sus *deseos*, \mathcal{I} las *intenciones* y Γ el *conjunto de acciones* que es capaz de ejecutar y conforman sus habilidades.

Los *deseos* \mathcal{D} o *metas* pueden representarse como un conjunto de literales. Un subconjunto de \mathcal{D} constituyen las *metas comprometidas* y corresponden a las *intenciones* \mathcal{I} .

Las *creencias* \mathcal{B} pueden representarse a través de un *Programa en Lógica Rebatible* (Φ, Δ) , donde Φ es un conjunto consistente de hechos, y Δ un conjunto de reglas rebatibles. La descripción detallada de DeLP puede obtenerse de [5] y una más breve de [2].

El plan de un agente individual se construye considerando únicamente sus intenciones y su conocimiento. El conocimiento va a estar integrado por el conjunto de creencias pero también por sus habilidades. Cuando un agente forma parte de una comunidad, puede solicitar colaboración y aprovechar las creencias y las habilidades de los miembros del sistema en el que participa.

En nuestra propuesta, los agentes no usan sus habilidades para cambiar directamente las intenciones de otros miembros del sistema, pero a través de la interacción pueden influir en la actitud mental de sus interlocutores. Así, cada mensaje puede pensarse como una acción que puede provocar un cambio en el conocimiento.

2.1 Colaboración entre agentes BDI

Las capacidades de un agente son limitadas y con frecuencia ningún miembro de un sistema es capaz de alcanzar todas sus metas por sí mismo, pero sí podría hacerlo si reuniera las capacidades distribuidas entre todos. En este trabajo, cada agente solicita colaboración cuando sus creencias y las acciones que es capaz de realizar, resultan insuficientes para elaborar planes que le permitan alcanzar sus metas.

Como contrapartida, sus intenciones pueden estar en conflicto con las de otros integrantes del sistema y sus acciones pueden afectar los planes de los demás. Si la actitud de cada uno de ellos es cooperativa, los conflictos pueden resolverse mediante un proceso de negociación. Durante la negociación los agentes interactúan intentando que los demás modifiquen sus planes o revisen sus intenciones.

En algún momento la interacción termina. La colaboración puede hacerse efectiva si no hay conflicto o el proceso de negociación termina en forma exitosa. En ambos casos, los agentes encontraron un acuerdo compartido, de modo que uno o varios ejecutarán planes vinculados a lo acordado y el conjunto de creencias se modificará como consecuencia de esta ejecución. Un aspecto fundamental es cómo representar el conocimiento de manera tal que los planes de un miembro, elaborados para colaborar con otro, efectivamente lleguen a afectarlo.

2.2 Conocimiento compartido

Las creencias de un agente social se construyen a partir de su percepción del mundo que lo rodea, pero también incluyen su conocimiento acerca del conocimiento de los demás. Existirán algunos elementos cognitivos compartidos por todos los integrantes del sistema. Cada individuo conocerá estos hechos, pero además razonará sabiendo que los demás también los conocen y saben que son compartidos.

El conocimiento de cada agente reúne entonces creencias propias y compartidas. Si el conocimiento compartido es común a todos los miembros del sistema, las acciones que las afecten van a tener que ser autorizadas por cada uno de ellos. Mantener la consistencia en el conocimiento compartido de un grupo numeroso de agentes, puede ser una tarea costosa, que exija un esfuerzo considerable por parte de los miembros del sistema. Si las solicitudes de colaboración son frecuentes, la interacción puede demandar una atención desproporcionada de los integrantes del grupo.

Alternativamente, el conocimiento compartido puede estar distribuido entre pares de agentes, de modo tal que los acuerdos pueden restringirse a los agentes que interactúan intercambiando creencias [10]. La principal ventaja de esta alternativa es que si un par de agentes encuentran un acuerdo favorable para ambos, sólo se modificará el conocimiento compartido entre ellos mismos. El inconveniente es que cada par de agentes puede mantener un *enfoque* muy diferente respecto al de los demás miembros del grupo.

Una posición intermedia es que algunas creencias, aquellas que no están sujetas a cambios frecuentes, se mantengan en una base de conocimiento global. En cualquiera de estos dos últimos casos, el conjunto de creencias de un agente es consistente, pero no sucede lo mismo con el conjunto de creencias global.

3 El proceso de negociación

El desafío al construir un agente racional es balancear el uso de recursos dedicados a elaborar un plan, respecto a los que destina a ejecutarlo. En un contexto social, cada miembro deberá, además, controlar y limitar los recursos que emplea en solicitar y brindar colaboración, respecto a los que dedica a elaborar y ejecutar planes orientados a satisfacer sus propias metas.

El modelo debe asegurar que la negociación termine y sea efectiva. La complejidad de la negociación va a estar fuertemente condicionada por tres aspectos:

- El *nivel de interacción*, que resulta de la necesidad de lograr coordinar el esfuerzo colectivo para permitir alcanzar metas que ninguno de los agentes por sí mismo podría lograr,

debido a que los recursos propios son limitados. Un sistema en el que existe una fuerte interdependencia entre las metas requerirá también un alto nivel de interacción. Las decisiones y acciones de cada agente pueden tener entonces un impacto significativo sobre las metas de los demás.

- El *nivel de dinamismo del entorno* que puede variar a partir de cambios externos o internos, provocados por las acciones de los propios participantes. Un ambiente dinámico condiciona la capacidad de predicción de los agentes y las posibilidades de que las acciones seleccionadas en un estado dado, provoquen el efecto esperado cuando las condiciones en las que se ejecutan no son las previstas en el momento en que se seleccionaron.
- El *nivel de heterogeneidad* en las capacidades de los agentes y de especificidad del conocimiento de cada uno en relación a sus metas. En un extremo, todos los miembros de un sistema pueden ser idénticos y por lo tanto cada uno “conoce” las habilidades de los demás, porque coinciden con las propias. En una situación opuesta cada agente tiene aptitudes diferentes, probablemente específicas a sus metas.

Existen diferentes modelos genéricos de negociación desarrollados para especificar el comportamiento de los agentes que actúan en un contexto social. Muchos de ellos toman elementos de las Teorías de las Organizaciones para establecer restricciones que permitan reducir la complejidad de los procesos de negociación [3], [6]. Como veremos a continuación, cuando se impone una estructura organizacional específica queda restringido el número y variedad de interacciones posibles. Los agentes sólo pueden solicitar cierto tipo de recursos, intercambiar información de características específicas y requerir colaboración bajo circunstancias determinadas.

4 Roles y relaciones

Una forma de reducir la complejidad del proceso de negociación entre los miembros de un sistema es especificar *roles* y *relaciones* de modo tal que conformen una *organización*. Un rol es una presentación abstracta de una función dentro de la organización que puede caracterizarse a través de diferentes propiedades tales como responsabilidades y aptitudes. El rol de cada integrante de una organización restringirá el comportamiento asegurando que favorezca las metas globales. Las relaciones establecen vínculos entre los roles y determinan las formas de interacción entre los agentes.

En la sección anterior describimos tres aspectos que influyen en el nivel de complejidad de la negociación en un sistema y que pueden servir como base para estudiar sus características. La definición de roles y relaciones afecta a estos tres aspectos.

Una estructura de roles reduce el nivel de interacción porque se simplifica la coordinación. La evolución del proceso de negociación estará ligada a los roles que ocupan el agente que solicita colaboración y el que la brinda.

Una estructura de roles amortigua también el impacto que provocan los cambios en el entorno. La planificación en un entorno dinámico es compleja porque cada agente delibera y evalúa opciones y oportunidades en un ambiente probablemente diferente a aquel en el que va a actuar poco después, cuando ejecute efectivamente las acciones que conforman su plan. El agente debe razonar entonces de una manera abstracta porque un entorno dinámico puede ser impredecible.

Los roles brindan un nivel de abstracción adecuado en estos casos ya que capturan las características del entorno que favorecen que el comportamiento de un agente va a ajustarse al esperado. Cada individuo delibera entonces de acuerdo a su rol y esto permite que sus planes “resistan” a algunos de los cambios que se produzcan en el entorno.

En una organización los agentes deliberan no sólo para construir planes individuales sino también porque tienen metas compartidas y deben decidir “quién resuelve qué”. Si todos los miembros son idénticos la distribución de tareas va a depender de la carga que tenga asignada cada uno en un momento determinado, seleccionando en primer lugar a los que estén ociosos o menos atareados.

Cuando las capacidades son diferentes, la asignación de tareas se realiza considerando la especialidad de cada uno respecto a estas tareas. La distribución requiere de una visión integrada y coherente de las tareas y el entorno en su conjunto. Los roles brindan patrones de comportamiento para los miembros del sistema, relacionados con sus capacidades específicas e independientes de un contexto particular.

4.1 Propiedades de los roles

Como mencionamos antes, una manera efectiva de mejorar la coordinación entre un conjunto de agentes es imponer sobre sus miembros una estructura organizacional que asigne roles a cada uno de los miembros. Existen diferentes alternativas para especificar, asignar y establecer la cardinalidad de los roles, algunas más restringidas y simples, otras más flexibles y complejas [7].

La *especificación de los roles* en una organización puede ser implícita o explícita. En el primer caso los roles se usan en forma intuitiva para analizar las cualidades de un sistema multiagente. En el segundo caso el concepto de rol toma mayor trascendencia porque brinda una estructura formal para construir sistemas multiagente para contextos dinámicos e impredecibles.

En una organización la *asignación de roles* puede ser fija o dinámica. El primer caso es el más simple y el rol de cada agente puede quedar establecido en el diseño de la aplicación. Cada miembro del sistema puede conocer su propio rol y el de los demás.

Una alternativa más flexible es que el rol de cada individuo pueda cambiar y deba ser considerado en el contexto de cada meta específica. Evidentemente sólo algunos miembros van a estar dotados de la facultad de asignar roles determinando la estructura organizacional del sistema. La capacidad deliberativa de estos miembros será considerablemente más compleja que la de los demás y requiere conocer las capacidades específicas de cada uno.

Una posición intermedia es que a cada agente se le asigne un rol en el momento en el que ingresa en el sistema. De este modo, el rol no queda fijado en el diseño, pero una vez que se establece, no cambia. Aun en este caso existen diferentes maneras de asignar un rol, entre ellas:

- *Imposición*: todo agente recibe un rol sin participar en la decisión. El objetivo puede ser, por ejemplo, que todos los miembros ocupen roles diferentes o por el contrario mantener varios agentes dentro de un mismo rol.
- *Aceptación sistemática*: todo agente es admitido en el sistema con el rol con el que desea ingresar.

- *Condicionada a un diálogo*: un agente que ingresa a un sistema expresa de alguna manera el rol que desea ocupar y si no es aceptado puede negociar hasta alcanzar un acuerdo que convenga a todos.
- *En función de las competencias*: en este esquema las habilidades y competencias de un agente van a determinar el rol o los roles que puede cumplir. Se requiere que la especificación de cada rol defina el conjunto de aptitudes que requiere y que la especificación de cada agente establezca el conjunto de habilidades y competencias que dispone.

Una propiedad fundamental es la *cardinalidad de los roles*, que especifica el número de agentes que deberían ocupar cada rol, como así también el número de roles que puede cumplir un agente dado. La alternativa más estricta es que un agente ocupe exactamente un rol y un rol corresponda a un único agente. La más flexible es que cada rol pueda ser ocupado por un número no restringido de agentes, que a su vez pueden ocupar varios roles.

5 Un Modelo para una Organización Artificial

En este trabajo un sistema multiagente se concibe como organización artificial formada por *grupos* de agentes BDI. Cada grupo tendrá una función o brindará un conjunto de servicios específicos y para hacerlo requerirá que sus miembros ocupen ciertos *roles*. La interacción entre los miembros de la organización quedará restringida por las *relaciones* que vinculan a los roles.

Un *grupo* se define como una tupla: $\mathcal{G} = \langle \mathcal{A}, \mathcal{R}, \mathcal{E} \rangle$, donde

- \mathcal{A} es el conjunto de identificadores de agentes que lo integran
- \mathcal{N} es el conjunto de convenciones y normas del grupo.
- \mathcal{R} es el conjunto de roles que van a asignarse a los miembros del grupo.
- \mathcal{E} es una estructura jerárquica que especifica las relaciones entre los roles.

Las creencias compartidas globales restringen el comportamiento de los agentes porque ninguno de ellos va a poder modificarlas por sí mismo, de modo que las acciones seleccionadas van a tener que ser consistentes con las creencias compartidas. Es decir, las postcondiciones de las acciones que representan las habilidades de un agente, no deberían entrar en conflicto con las creencias compartidas globalmente. De lo contrario se trataría de aptitudes poco útiles ya que no llegarán a ejecutarse nunca.

5.1 Representación de Roles y Relaciones

El conjunto de roles se define como $\mathcal{R} = \{\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n\}$. Cada rol ρ_i dentro del conjunto \mathcal{R} contiene al conjunto de *aptitudes* requeridas, donde cada aptitud va a estar representada a través de un literal.

Los roles existen dentro de un organización, independientemente de que estén instanciados o no. En un momento dado, puede producirse la situación de que ninguno de los miembros de un grupo pueda asignarse a un rol determinado y no por eso deja de existir dicho rol.

Las relaciones entre los roles se definen como $\mathcal{E} \subseteq \mathcal{R} \times \mathcal{R}$ y constituyen un orden parcial satisfaciendo las propiedades reflexiva, asimétrica y transitiva. Además, supondremos que \mathcal{E} verifica la siguiente propiedad: si $\rho_1, \rho_2 \in \mathcal{R}$ entonces $\exists \rho_3 \in \mathcal{R}$ tal que $\rho_1 \mathcal{E} \rho_3$ y $\rho_2 \mathcal{E} \rho_3$, es decir, siempre existe el supremo entre dos roles.

Las relaciones determinan las formas de interacción que pueden producirse dentro del proceso de negociación de dos agentes de un mismo grupo. Así, las características de un grupo pueden analizarse en base a su estructura global y al conjunto de interacciones que pueden producirse, sin considerar el comportamiento particular de los individuos que la conforman.

Es importante notar que, aunque un agente puede formar parte de varios grupos, su conocimiento será siempre el mismo, pero el rol que ocupa depende del grupo. Así, cuando se inicia un proceso de negociación se hace en el contexto de un grupo particular.

En el momento en que se inicia la interacción se asigna a cada participante el rol que corresponde y así queda determinada también la relación que los unirá durante todo el proceso. Esta relación va a restringir el tipo de locuciones que puede realizar cada agente y por lo tanto condiciona la evolución del proceso. La asignación de un rol a un agente va a depender, como presentaremos a continuación, de sus competencias.

5.2 Asignación de Roles

Hemos definido a un rol como el conjunto de aptitudes requeridas para cumplir una función. Una alternativa para la asignación de roles es que un rol específico pueda ligarse a un agente determinado si sus competencias resultan suficientes para cumplir con el rol [4]. Las competencias de un agente están integradas por sus creencias y por todos aquellos planes que formuló para alcanzar metas propias o atender solicitudes de colaboración.

A la definición de agente argumentativo BDI introducida en la segunda sección de este artículo, agregamos ahora el conjunto \mathcal{C} que representará sus *competencias*. El conjunto \mathcal{C} está conformado por los planes que el agente ha construido y ejecutado previamente y aumentan su conocimiento. De este modo, cada plan ejecutado tiene una doble funcionalidad, por un lado le permite al agente alcanzar una meta, pero además aumenta su experiencia.

Cada nueva competencia que se agrega al conjunto puede pensarse como una acción compuesta y esto resulta particularmente útil cuando un agente enfrenta las mismas metas reiteradamente. La existencia de un plan previo no implica necesariamente que siempre se evite construir otro nuevo, porque en cada oportunidad las creencias pueden ser diferentes y entonces las precondiciones de un plan conocido pueden satisfacerse o no.

Es importante notar que las acciones involucradas en un plan ejecutado pueden tener como precondiciones a creencias que fueron obtenidas gracias a solicitudes de colaboración, que probablemente provocaron procesos de negociación entre dos o más agentes. La representación explícita de las competencias requiere distinguir entre las acciones que el agente pudo realizar por sí mismo, de aquellas que provocaron la interacción con otros agentes. No consideramos significativo incluir dentro de las competencias aquellos planes que resultaron infructuosos y no llegaron a ejecutarse.

La propuesta es que el rol de cada agente cambie dinámicamente dependiendo de sus competencias. Un rol puede ser asignado a un agente si el conjunto de aptitudes que conforman

el rol forma parte de sus competencias. Esto es, este está incluido en sus creencias o existen planes ya elaborados que le permiten cumplir con las funciones inherentes al rol.

Bajo esta concepción, en un grupo particular cada agente tendrá en un momento determinado un rol específico y entre cada par de agentes puede existir una relación establecida por sus roles. Esta relación restringe el conjunto de interacciones posibles entre ambos.

6 Un protocolo de interacción para una organización

En el modelo propuesto en este trabajo, la interacción se establece a través de *diálogos* que en todos los casos vinculan a un par de agentes. Un diálogo es una secuencia de actos del habla, intercambiados entre dos interlocutores que buscan formas de alcanzar un acuerdo favorable para ambos, siguiendo un esquema de turnos. Cada participante tiene metas propias, que va a intentar balancear con el compromiso que implica la colaboración.

Una *conversación* es a su vez un conjunto de diálogos que vinculan a varios pares de agentes del sistema. Cuando la conversación termine es probable que la actitud mental de cada agente se haya modificado. Las relaciones que vinculan a los agentes de una organización afectan el desarrollo de los diálogos y de las conversaciones.

Una conversación se inicia cuando un agente \mathbf{a}_1 realiza un requerimiento global de colaboración y algunos miembros del grupo manifiestan su disposición a colaborar. El agente \mathbf{a}_1 establece entonces un *equipo de trabajo* en el que se incluye a sí mismo y a sus colaboradores. En ese momento cada agente del equipo va a quedar asociado a un rol específico, que le será asignado a partir de sus competencias y considerando las aptitudes requeridas por el rol.

El agente \mathbf{a}_1 va a iniciar un diálogo con otro miembro del equipo, digamos \mathbf{a}_2 realizando ahora un requerimiento específico acerca de un literal p . El agente \mathbf{a}_2 intentará atender la solicitud de \mathbf{a}_1 y pueden darse las siguientes situaciones:

- El literal p está dentro de sus creencias o puede construir un plan para obtenerlo. En ambos casos puede colaborar con \mathbf{a}_1 y acepta el requerimiento. El diálogo va a terminar cuando \mathbf{a}_2 informe que ejecutó su plan y de este modo se efectivizó su colaboración.
- El literal p no está dentro de sus creencias y no encuentra un modo de construir un plan que le permita obtenerlo. A pesar de su disposición para colaborar, no está en condiciones de hacerlo y el diálogo termina.
- Puede construir un plan para p pero requiere para ello de otros literales que provocan el intercambio de contrapropuestas o la iniciación de nuevos diálogos con otros miembros del equipo.
- Puede construir un plan para p , pero su ejecución provocaría conflictos con sus propias metas. Rechaza el requerimiento de \mathbf{a}_1 considerando sus propios intereses.

En el tercer caso se van a generar nuevos requerimientos, cada uno de los cuales puede provocar las mismas cuatro situaciones. En el último caso la evolución del diálogo va a depender de la asignación de roles establecida en el momento de iniciarse la conversación.

En primera instancia, \mathbf{a}_1 va a intentar construir un plan alternativo para lograr sus metas, para el cual no requiera de p . Si no lo logra y su nivel jerárquico es menor que el de \mathbf{a}_2 dentro de la estructura organizacional, intentará conseguir la colaboración de otro miembro del equipo de trabajo.

Si dentro de la estructura \mathbf{a}_1 tiene el mismo nivel jerárquico que \mathbf{a}_2 dado que no puede conseguir un plan que no requiera de p , puede *insistir* a través de una locución que refleje mayor intensidad en el requerimiento. Entonces \mathbf{a}_2 va a revisar sus propios planes, intentando satisfacer sus metas a través de una alternativa que no requiera de p . En este caso puede aceptar el requerimiento, realizar una contrapropuesta, iniciar un nuevo diálogo o rechazar nuevamente.

Si en cambio \mathbf{a}_1 tiene un nivel jerárquico mayor que \mathbf{a}_2 no sólo va a poder insistir, sino también *demandar* el literal p , en el caso de que el conflicto persista aun después de que \mathbf{a}_2 intente elaborar un nuevo plan. El agente \mathbf{a}_2 va a tener que resignar, o al menos posponer, sus metas comprometidas y seleccionar otras nuevas, sin conflictos con los requerimientos de \mathbf{a}_1 .

Cuando un agente recibe varias solicitudes de colaboración intentará atender, en primera instancia, a aquellas que corresponden a individuos con un mayor nivel jerárquico que el propio. Cuando realiza una solicitud en cambio, no condiciona el pedido en función de sus relaciones ya que el conocimiento específico para atender un requerimiento no depende de la posición jerárquica dentro de la organización. Con frecuencia, las creencias de un agente o sus habilidades pueden hacerlo más capaz de resolver un problema o subproblema que otro con mayor nivel jerárquico. Claramente, existe una fuerte vinculación entre la estructura de la estructura de la organización y el protocolo de interacción

Es esencial que el lenguaje de interacción brinde primitivas de comunicación que le permitan manifestar a cada agente su *actitud* frente al diálogo a medida que este evoluciona. En [9] proponemos un lenguaje de interacción entre agentes basado en la *Teoría de los Actos del Habla* [11]. Esta teoría captura las características fundamentales de la comunicación humana y la trasladan a un modelo adecuado para el desarrollo de agentes artificiales. La idea central es reconocer qué aspectos internos de una entidad artificial autónoma se modifican, cuando este interactúa con otros miembros del sistema.

En este trabajo, un agente es una entidad que ocupa un rol dentro de la organización e interactúa a partir de la relación entre su propio rol y el rol de cada uno de sus interlocutores. Algunos roles pueden tener restricciones específicas, por ejemplo puede haber roles de los cuales se exige que haya al menos un agente que ocupe esa función en cada momento o que haya a lo sumo un agente asignado al rol. En particular, puede exigirse que exista un rol especializado, el administrador, entre cuyas funciones estará la admisión de nuevos miembros o el manejar los requerimientos de colaboración.

La estructura en la cual se relacionan los roles dentro de la organización, restringe las locuciones posibles en determinados momentos del diálogo. La autonomía sigue siendo una cualidad importante, pero restringida al comportamiento esperado para el rol en el contexto que determina la estructura de relaciones.

Notemos que la estructura propuesta se adapta a diferentes arquitecturas internas para los agentes y no asume un formalismo particular para modelar a cada agente individual, en tanto exista una representación explícita de sus competencias. Es más, los agentes podrían ser heterogéneos no sólo en sus metas, en su conocimiento acerca del mundo y en sus habilidades, sino también en su mecanismo deliberativo o en su estructura interna.

7 Conclusiones y trabajo futuro

Un gran número de aplicaciones desarrolladas siguiendo el modelo de agentes demandan altos niveles de comunicación y colaboración. La comunicación y colaboración ofrece un ambiente cooperativo que aumenta las posibilidades para que cada individuo alcance sus metas, pero también provoca interferencias y dependencias entre las tareas, exigiendo que las acciones sean coordinadas adecuadamente.

La especificación explícita de roles favorece la coordinación y reduce la complejidad que provocan los altos niveles de interacción entre agentes heterogéneos y especializados. La asignación dinámica de roles, considerando las aptitudes requeridas por los roles y las competencias adquiridas por los agentes a medida que elaboran planes, permite que el sistema se adapte a cambios en el ambiente, incluso aquellos que resulten imprevisibles en la etapa de diseño de la aplicación.

Este trabajo ofrece una alternativa para que los agentes de una organización coordinen sus acciones en forma coherente a las actividades del grupo. La definición de los roles se realiza considerando exclusivamente las aptitudes que demanda su ejercicio. Una caracterización más completa exige incluir también las *obligaciones* o *responsabilidades* que entraña el rol y los *derechos* que ofrece. Por ejemplo, quienes ocupen un rol determinado pueden tener que preparar un reporte periódicamente y pueden tener acceso a cierta información confidencial. El modelo propuesto va a ser extendido para incluir una representación explícita de normas y convenciones que rijan el comportamiento de los miembros de un grupo y los compromisos y facultades que caractericen a los de roles.

En esta propuesta la asignación de roles a los agentes es dinámica, sin embargo, la estructura de la organización es estática y los grupos, roles y relaciones quedan definidos en el diseño de la aplicación. Una extensión posible es que pudieran crearse nuevos grupos y roles o modificarse las relaciones entre estos últimos.

Los agentes interactúan usando siempre el mismo lenguaje, el nivel de heterogeneidad se restringe a las creencias y habilidades, no al repertorio de primitivas que cada uno conoce. Otra alternativa para extender el modelo es aumentar la complejidad de la organización para incluir agentes que se comuniquen a través de diferentes protocolos y lenguajes.

References

- [1] BRATMAN, M., ISRAEL, D., AND M.POLLACK. Plan and resource-bounded practical reasoning. *Computational Intelligence* 4 (1988), 349–355.
- [2] CAPOBIANCO, M., CHESÑEVAR, C., AND SIMARI, G. An argumentative formalism for implementing rational agents. In *Proceedings of II Workshop en Agentes y Sistemas Inteligentes (WASI) VII CACIC* (2001), pp. 91051–1062.
- [3] COHEN, P., AND LEVESQUE, H. Teamwork. In *Nous* (1991), pp. 487–512.
- [4] FERBER, J., AND GUTKNECHT, O. A meta-model for the analysis and design of organizations in multi-agent systems. In *ICMAS* (1998), pp. 128–135.
- [5] GARCÍA, A. J., AND SIMARI, G. R. Defeasible logic programming: An argumentative approach. In *Theory and Practice of Logic Programming* (2004), pp. 95–138.

- [6] GROSZ, B., KRAUS, S., AND UR, S. Deriving multi-agent coordination through filtering strategies. In *Proceeding of the fourteenth International Joint Conference of Artificial Intelligence* (1995).
- [7] PARTSAKOULAKIS, I., AND VOUIROS, G. Roles in collaborative activity. In *SETN* (2002), pp. 449–460.
- [8] RAO, A. S., AND GEORGEFF, M. P. BDI agents: From theory to practice. *Proceedings of the First International Conference on Multiagent Systems* (1995), 312–319.
- [9] RUEDA, S. V., GARCÍA, A. J., AND SIMARI, G. R. Argument-based negotiation among bdi agents. *Journal of Computer Science and Technology* 2, 7 (2002), 1–8.
- [10] RUEDA, S. V., GARCÍA, A. J., AND SIMARI, G. R. Alternativas para la representación del conocimiento compartido entre agentes colaborativos. In *Proc. of the VIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación* (2004), pp. 1508–1519.
- [11] SEARLE, J. R. *Speech Acts: An Essay in the Philosophy of Language*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 1969.
- [12] SMITH, R. The contract net protocol: high-level communication and control in a distributed problem solver. 357–366.