

# Alternativas para la Representación del Conocimiento Compartido entre Agentes Colaborativos

Sonia V. Rueda      Alejandro J. García      Guillermo R. Simari  
svr@cs.uns.edu.ar    agarcia@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

## Resumen

El comportamiento de un agente social colaborativo es diferente al de un agente aislado porque debe considerar las metas, el conocimiento y las habilidades de los miembros de la comunidad en la que participa. En este trabajo adoptamos genéricamente el modelo BDI y analizamos dos alternativas diferentes para la representación del conocimiento compartido por los agentes del sistema. Presentamos un protocolo de negociación explorando algunas de las formas de interacción posibles entre agentes autónomos, racionales y colaborativos. Se propone luego un repertorio de primitivas de negociación que permiten que cada agente muestre su actitud frente a la negociación y eventualmente influya en los planes e intenciones de su interlocutor. Por último mostramos algunos ejemplos que permiten ilustrar cómo mejoran las oportunidades de colaboración, cuando el conocimiento compartido se distribuye entre pares de agentes.

## 1. Introducción

El comportamiento de un agente social es diferente al de un agente aislado porque no actúa siguiendo exclusivamente sus metas, su conocimiento y sus habilidades sino que también debe considerar las metas, el conocimiento y las habilidades de los miembros de la comunidad en la que participa. En este trabajo adoptamos genéricamente el modelo BDI para representar la actitud mental de cada miembro del grupo y un mecanismo de argumentación rebatible para razonar y construir planes.

El conocimiento de un agente incluye sus creencias acerca del dominio en el que actúa, sus deseos e intenciones y sus propias capacidades. Las creencias representan lo que el agente *sabe* acerca del entorno que lo rodea, sus deseos e intenciones se refieren al estado que desea alcanzar y representan sus motivaciones y compromisos.

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.

Cada agente elabora planes considerando sus creencias acerca del mundo, sus intenciones respecto al estado deseado y sus habilidades para transformarlo. Un plan es una secuencia de acciones que al ejecutarse provocan un cambio en el conocimiento acerca del entorno. El mecanismo de argumentación va a evaluar argumentos y contrargumentos para garantizar las precondiciones de las acciones. En un sentido inverso, la ejecución de una acción puede agregar o remover hechos de las creencias, con la intención de garantizar nuevas conclusiones.

Los agentes son autónomos y esa cualidad se refleja en el hecho de que ninguno va a sufrir modificaciones en sus creencias como consecuencia de una acción ejecutada por otro agente. Sin embargo, todos los miembros del grupo pueden modificar las creencias compartidas. Más aún, cuando un agente encuentra una forma de atender un requerimiento de otro, su colaboración se refleja en la modificación del conocimiento compartido.

La actitud de cada uno de ellos es cooperativa, las solicitudes de colaboración pueden resolverse mediante un proceso de negociación. Durante la negociación, los agentes interactúan intentando influir en los planes y preferencias de los demás miembros del grupo, buscando alcanzar un acuerdo compartido. La comunicación provoca el intercambio de *actos comunicativos* a través de los cuales la actitud mental de cada agente puede cambiar.

Cada agente mantiene la consistencia entre sus propias creencias y las creencias compartidas, pero no puede controlar la consistencia entre las creencias de los demás agentes y las creencias compartidas. Si todo el conocimiento compartido es global, las oportunidades de colaboración pueden quedar restringidas, debido a la necesidad de mantener la consistencia.

En la siguiente sección de este trabajo presentamos diferentes alternativas para la representación del conocimiento de los agentes de un sistema. En la tercera sección planteamos un protocolo de negociación y analizamos algunas de las situaciones que pueden generarse durante la interacción. En la cuarta sección se introduce la propuesta del lenguaje de interacción. Luego, en la quinta sección se introduce la negociación con conocimiento compartido global mostrando ejemplos que ilustran las dificultades de esta opción y a continuación, en la última sección se elabora la propuesta considerando el conocimiento compartido distribuido. Finalmente, se ofrecen las conclusiones del trabajo y se delinea el trabajo futuro.

## **2. Representación del Conocimiento**

El conocimiento de los miembros de un sistema multiagente puede organizarse de diferentes maneras. La forma más débil se conoce como *conocimiento distribuido* y en este caso cada agente tiene su propio conjunto de creencias acerca del mundo, que dependen de su capacidad de percepción. En este modelo, cada agente puede percibir diferentes aspectos del mundo real y además tener un enfoque distinto acerca de un aspecto particular. A partir de esta consideración, es probable que el conocimiento de un miembro del grupo, sea inconsistente respecto al de los demás.

La alternativa más estricta es mantener el *conocimiento compartido globalmente*, de manera tal que el conjunto de creencias sea compartido por todos los miembros del sistema. Cualquier modificación sobre el conocimiento afectará a todos los agentes del sistema.

Nuestra propuesta analiza dos alternativas intermedias. Una de ellas es que se mantengan las dos formas de representación. Cada agente tendrá algunos conocimientos específicos, pero también existirá un conjunto de hechos compartidos por todos los miembros del grupo. Así, el conocimiento individual de cada agente estará integrado por su conocimiento específico y el conocimiento compartido global. Cada agente razonará a partir de su conocimiento individual, que le brinda una visión parcial pero consistente acerca del mundo.

Si el sistema está integrado por dos agentes, cuando la negociación termina en forma exitosa, el conocimiento compartido debería modificarse para incorporar nuevas creencias y el estado mental de ambos agentes cambiará como consecuencia de la interacción [1]. Si el grupo es numeroso, el acuerdo entre dos de los miembros del grupo no asegura que la modificación del conocimiento compartido global pueda realizarse, manteniendo la consistencia en el conocimiento individual de cada miembro. Es más, todo el proceso de negociación entre dos agentes podría fracasar, aún cuando hubieran llegado a un acuerdo, si al terminar el diálogo tienen que solicitar la aprobación del resto del grupo.

La segunda alternativa analizada en este trabajo, supone mantener parte del *conocimiento compartido distribuido* entre pares de agentes. Puede existir además, un conjunto de hechos conocidos por todos los miembros del grupo, que conformen el conocimiento compartido global. El conocimiento compartido por cada par de agentes deberá ser consistente con el conocimiento compartido global.

En este modelo, el conocimiento individual de cada agente está integrado por su conocimiento específico, el conocimiento compartido con cada uno de los otros miembros del grupo y el conocimiento compartido global. El proceso de negociación no demanda en este caso el acuerdo de todos los integrantes del sistema, sino sólo de aquellos que han entablado una conversación.

### **3. Protocolo de Interacción**

En un sistema multiagente el grupo puede ser homogéneo o heterogéneo. En el primer caso todos los miembros son idénticos. En un grupo heterogéneo los agentes pueden tener diferentes creencias, deseos, intenciones y habilidades. En nuestro modelo el grupo es heterogéneo y las metas de cada uno de sus miembros están ligadas a sus habilidades, aunque ocasionalmente estas no resultan suficientes y están forzados a solicitar colaboración. Cuanto mayor sea el nivel de especialización de un agente respecto a sus metas, menos frecuentes serán sus requerimientos de colaboración.

Los agentes intentan hacer converger sus intereses, a través de un proceso de negociación en el cual se establecen diálogos en los que se intercambian propuestas y contrapropuestas. Si el proceso es exitoso la interacción termina cuando se alcanza un acuerdo compartido.

Cuando un agente  $\mathbf{a}_1$  requiere de un literal  $p$  y no puede encontrar una garantía para él a partir de su conocimiento individual, ni elaborar una secuencia de acciones que le permita agregarlo, inicia un diálogo para solicitar colaboración de otro miembro del grupo  $\mathbf{a}_2$ .

El agente  $\mathbf{a}_1$  requiere asistencia de  $\mathbf{a}_2$  a través de una propuesta en la que solicita  $p$ . El agente  $\mathbf{a}_2$  recibe entonces la propuesta de  $\mathbf{a}_1$  y pueden producirse diferentes situaciones.

Algunas de estas situaciones provocan que el diálogo entre  $\mathbf{a}_1$  y  $\mathbf{a}_2$  continúe, como se propone en [1], intentando encontrar un acuerdo compartido. Así, es posible para atender el requerimiento de  $\mathbf{a}_1$ ,  $\mathbf{a}_2$  construya un plan que requiere de un literal  $q$  y elabore una contrapropuesta solicitando  $q$  a  $\mathbf{a}_1$ . Alternativamente,  $\mathbf{a}_1$  o  $\mathbf{a}_2$  pueden lograr construir un plan adecuado para atender una propuesta o contrapropuesta, pero este plan provoca algunos efectos colaterales conflictivos con los planes o las creencias del otro agente.

En algún momento del diálogo entre  $\mathbf{a}_1$  y  $\mathbf{a}_2$  puede suceder que:

- a) Se alcanza un acuerdo compartido
- b) Alguno de los dos no es capaz de atender una propuesta o contrapropuesta del otro
- c) Alguno de los dos encuentra un conflicto entre una propuesta o contrapropuesta y sus propias creencias, metas o planes.

Si el grupo incluye a otros miembros, cada una de estas situaciones los afectará de una manera diferente.

En el primer caso,  $\mathbf{a}_2$  *acepta la propuesta* indicando que encontró un modo de colaborar. Si la colaboración se hace efectiva, se van a agregar literales al conocimiento compartido, algunos corresponden a las propuestas y contrapropuestas y otros a sus efectos colaterales. Si todo el conocimiento compartido es global, la modificación puede provocar conflictos con otros miembros del grupo, que evidentemente no aparecían en el modelo restringido a dos agentes.

En el segundo caso, a pesar de que ambos tienen una actitud colaborativa, en algún punto del diálogo uno de ellos, por ejemplo  $\mathbf{a}_2$ , indica que *no es capaz* de atender la propuesta de  $\mathbf{a}_1$ , porque sus conocimientos o capacidades no son suficientes. El diálogo se suspende y  $\mathbf{a}_1$  solicitará la ayuda de algún otro miembro del grupo para obtener  $p$ . Si todo el conocimiento compartido es global, el agente  $\mathbf{a}_2$  no queda fuera del proceso de negociación, aún cuando  $\mathbf{a}_1$  consiga colaboración de otro miembro de la organización, todos los demás van a tener que acordar las modificaciones sobre el conocimiento compartido, inclusive  $\mathbf{a}_2$ .

Una situación algo más compleja se produce cuando para atender la propuesta de  $\mathbf{a}_1$  referida a  $p$ ,  $\mathbf{a}_2$  solicita  $q$  a  $\mathbf{a}_3$ . Si  $\mathbf{a}_3$  no puede atender el requerimiento  $q$ , puede reconocer que su capacidad es insuficiente o rechazar el pedido porque existe conflicto con sus propios planes. La propuesta rechazada es de  $\mathbf{a}_2$ , pero originada a partir de su intención de atender la solicitud de  $\mathbf{a}_1$ . El agente  $\mathbf{a}_2$  intentará colaborar con  $\mathbf{a}_1$  a través de un camino alternativo que no requiera del literal  $q$ , si no lo logra y la razón es el conflicto con  $\mathbf{a}_3$  respecto a  $q$ , el diálogo puede evolucionar de dos maneras diferentes.

Una posibilidad es que  $\mathbf{a}_2$  continúe negociando con  $\mathbf{a}_3$  e *insista* en su propuesta acerca de  $q$  y eventualmente *demandando* este literal. Alternativamente, considerando que el proceso de negociación lo inició  $\mathbf{a}_1$ , puede ser que sea este último el que tome una actitud más enérgica con  $\mathbf{a}_3$ . Este último caso, el lenguaje debe incluir primitivas para que  $\mathbf{a}_2$  le informe a  $\mathbf{a}_1$  que no pudo satisfacer su requerimiento porque tuvo conflicto con  $\mathbf{a}_3$  respecto a  $q$ . El agente  $\mathbf{a}_1$  puede solicitar colaboración para  $p$  a otro miembro del grupo, inclusive a  $\mathbf{a}_3$ , pero si no la obtiene revisará su plan. Si no encuentra un modo de satisfacer sus intenciones sin obtener  $p$ , insistirá solicitándole  $q$  a  $\mathbf{a}_3$ . Este último intentará modificar sus planes para colaborar con  $\mathbf{a}_1$ , pero si el conflicto se produjo con sus propias metas, volverá a rechazar la propuesta. El agente  $\mathbf{a}_1$  puede entonces demandar  $q$  y  $\mathbf{a}_3$  se verá forzado a comprometerse con otra meta. Si  $\mathbf{a}_3$  modifica su meta o encuentra un plan alternativo para alcanzarla, de modo tal que evita el conflicto respecto a  $q$ , acepta colaborar y  $\mathbf{a}_1$  vuelve a pedirle  $p$  a  $\mathbf{a}_2$ .

En el caso c, uno de los agentes, por ejemplo  $\mathbf{a}_2$  *rechaza la propuesta* de  $\mathbf{a}_1$ , porque se produce alguna forma de conflicto y pueden darse a su vez dos situaciones diferentes. Una posibilidad es que  $\mathbf{a}_2$  pueda elaborar un plan para atender la propuesta de  $\mathbf{a}_1$ , pero este plan provoca un efecto colateral  $q$  sobre los planes o intenciones de  $\mathbf{a}_1$ . Notemos que  $\mathbf{a}_2$  no está realmente interesado en  $q$ , de modo que no va a insistir con la contrapropuesta, como si se tratara de una necesidad propia. Si no encuentra un plan alternativo para colaborar, rechaza la solicitud del literal  $p$  y  $\mathbf{a}_1$  solicita la colaboración de otro agente. Notemos que en este caso, la presencia de otros miembros en el grupo, mejora las posibilidades de que el requerimiento de  $\mathbf{a}_1$  pueda satisfacerse.

Otra posibilidad es que  $\mathbf{a}_2$  no pueda colaborar con  $\mathbf{a}_1$  porque la propuesta misma provoca conflictos con sus propios planes o intenciones. En este caso si el conocimiento compartido es global, el problema no se resuelve con solicitar la colaboración de otro miembro del grupo, porque aún obteniéndola no habrá modo de modificar el conocimiento compartido, manteniendo la consistencia de cada miembro del grupo.

El agente  $\mathbf{a}_1$  puede revisar sus planes o *insistir* en su propuesta para que  $\mathbf{a}_2$  modifique los suyos. Si aún así no hay acuerdo,  $\mathbf{a}_1$  puede revisar sus intenciones o *demandarle* a  $\mathbf{a}_2$  que modifique las suyas.

El uso de ciertas palabras como *insisto* o *demando* infundirá vehemencia al diálogo e influirá en la actitud del receptor. El repertorio de primitivas que conforman el lenguaje de interacción, debe permitir que los agentes expresen hasta que punto desean influir en la actitud mental de su interlocutor.

#### 4. Lenguaje de Interacción

El razonamiento de un agente social es sustancialmente más complejo que el de un agente aislado. Cada agente va a actuar motivado por sus metas y condicionado por sus propias creencias y por las de otros miembros del grupo. La existencia de otros miembros le va a permitir solicitar y obtener colaboración, pero también va a requerir cierta capacidad de interacción.

En este sentido el rol de un lenguaje para agentes BDI es fundamental, porque permite expresar actitudes mentales. La función esencial del lenguaje retiene muchos de los aspectos que permiten la comunicación humana.

Los lenguajes de interacción basados en la *Teoría del acto hablado*, capturan las características esenciales de la comunicación humana y las trasladan a un modelo adecuado para el desarrollo de agentes artificiales. La idea es reconocer todos los aspectos internos de una entidad artificial autónoma, considerando particularmente los cambios que se producen cuando interactúa con otras.

Una aspecto esencial en la teoría es que una comunicación es una clase especial de *acción*. Cuando un agente se comunica ejecuta acciones, tales como requerimientos, sugerencias, promesas, etc. El *acto hablado* es la unidad mínima de comunicación. Toda expresión es un acto hablado y denota al mismo tiempo una acción.

Un lenguaje de interacción entre agentes basado en la Teoría del acto hablado, está constituido por un conjunto de *primitivas* de comunicación. A partir del protocolo de negociación presentado en la sección anterior, proponemos el siguiente repertorio de primitivas.

- Solicitudes de colaboración
  - $\text{Require}(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, p)$  El agente  $\mathbf{a}_1$  necesita el literal  $p$  y solicita la colaboración del agente  $\mathbf{a}_2$ .
  - $\text{Insist}(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, p)$  El agente  $\mathbf{a}_1$  le pide al agente  $\mathbf{a}_2$  que revise sus planes para evitar el conflicto respecto al literal  $p$ .
  - $\text{Demand}(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, p)$  El agente  $\mathbf{a}_1$  le pide al agente  $\mathbf{a}_2$  que revise sus metas para evitar el conflicto respecto al literal  $p$ .
- Respuestas a una solicitud de colaboración
  - $\text{Accept}(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, p)$  El agente  $\mathbf{a}_1$  le informa al agente  $\mathbf{a}_2$  que puede colaborar en relación porque conoce el literal  $p$  o puede construir un plan para él.
  - $\text{Unable}(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, p)$  El agente  $\mathbf{a}_1$  le informa al agente  $\mathbf{a}_2$  que no está capacitado para colaborar respecto al literal  $p$ .
  - $\text{Reject}(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, p)$  El agente  $\mathbf{a}_1$  le informa al agente  $\mathbf{a}_2$  que existe un conflicto entre sus propios planes o metas y el literal  $p$ .
  - $\text{Indirect\_Reject}(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3, p, q)$  El agente  $\mathbf{a}_1$  le informa al agente  $\mathbf{a}_2$  que para satisfacer el requerimiento de  $p$ , necesita  $q$ , pero hay un conflicto con  $\mathbf{a}_3$  respecto a  $q$ .
- Solicitudes de modificar el conocimiento compartido
  - $\text{Request\_add}(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, p)$  El agente  $\mathbf{a}_1$  solicita al agente  $\mathbf{a}_2$  autorización para agregar el literal  $p$  al conocimiento compartido entre ambos.

- `Request_All_add(a1, p)` El agente  $\mathbf{a}_1$  solicita a todos los miembros del grupo autorización para agregar el literal  $p$  al conocimiento compartido global.
- `Authorize_add(a1, a2, p)` El agente  $\mathbf{a}_1$  responde a la solicitud de  $\mathbf{a}_2$  indicando que agregar el literal  $p$  al conocimiento compartido no provoca inconsistencias con sus creencias ni conflicto con sus metas.

La primitiva `Requests_All_add(a1, p)` sólo se utiliza en el caso de que todo el conocimiento compartido sea global. La interacción tiene que asegurar que se mantenga la consistencia entre las creencias comunes a todos los miembros del grupo.

Si parte del conocimiento compartido está distribuido entre pares de agentes, la interacción entre dos miembros del grupo sólo provocará modificaciones en el conjunto de creencias compartidas por ambos, no es necesario solicitar autorización a los demás integrantes del grupo.

Mostramos a continuación, algunos ejemplos en los cuales la evolución del diálogo varía, dependiendo de si el conocimiento compartido vincula a todos los miembros del grupo o se distribuye entre pares de agentes.

## 5. Negociación con conocimiento compartido global

Consideremos un ejemplo concreto con tres agentes  $\mathbf{a}_1$ ,  $\mathbf{a}_2$  y  $\mathbf{a}_3$  entre los que se produce el siguiente diálogo:

### Ejemplo 5.1

```
Require(a1,a2,p)
Request_all_add(a2,p)
Reject (a3,a2,p)
```

En el ejemplo,  $\mathbf{a}_1$  inicia el diálogo con una propuesta en la que solicita  $p$  a  $\mathbf{a}_2$ . El agente  $\mathbf{a}_2$  elabora un plan para  $p$  y solicita autorización para modificar el conocimiento compartido, agregando el literal  $p$ . Si el grupo estuviera integrado únicamente por dos agentes, no habría conflicto porque  $\mathbf{a}_1$  fue justamente quien solicitó  $p$ . Pero con más miembros en el sistema,  $\mathbf{a}_3$  puede rechazar la solicitud de modificación del conocimiento compartido, porque provoca inconsistencia con sus propias creencias o conflictos con sus planes.

Observemos que en apariencia  $\mathbf{a}_3$  tiene un conflicto con la solicitud de autorización de  $\mathbf{a}_2$ , sin embargo  $\mathbf{a}_1$  es quien efectivamente necesita  $p$ . El siguiente ejemplo muestra una situación similar:

## Ejemplo 5.2

Require( $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, p$ )  
Require( $\mathbf{a}_2, \mathbf{a}_1, q$ )  
Request\_all\_add( $\mathbf{a}_1, q$ )  
Request\_all\_add( $\mathbf{a}_1, r$ )  
Authorize( $\mathbf{a}_3, \mathbf{a}_1, q$ )  
Reject( $\mathbf{a}_3, \mathbf{a}_1, r$ )

El plan elaborado por  $\mathbf{a}_1$  para atender la contrapropuesta de  $\mathbf{a}_2$  provoca como efecto colateral  $q$  y  $r$ . El literal  $r$  es rechazado por  $\mathbf{a}_3$ , de modo que el diálogo puede continuar de acuerdo a diferentes alternativas,  $\mathbf{a}_1$  puede:

- Reiniciar el diálogo con  $\mathbf{a}_2$ , solicitándole un plan alternativo para  $p$ , que no requiera de  $q$
- Iniciar un nuevo diálogo con otro agente solicitando colaboración para  $p$ .
- Buscar un plan alternativo para  $q$ , que no provoque el efecto colateral  $r$
- Continuar el diálogo con  $\mathbf{a}_3$ , *insistiendo* o incluso *demandando*  $q$  y provocando que  $\mathbf{a}_3$  revise sus propios planes o intenciones

En todos los casos, pero sobretodo en los dos últimos, el diálogo puede ramificarse y prolongarse considerablemente. Evidentemente la introducción de nuevos miembros al grupo aumenta las posibilidades de colaboración, pero también introduce mayores riesgos de conflicto. La restricción de mantener la consistencias entre las creencias compartidas por todos los miembros del grupo, puede llegar a comprometer las oportunidades de colaboración.

## 6. Negociación con conocimiento compartido distribuido

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, el diálogo puede demandar una atención desproporcionada de los integrantes del grupo.

Una alternativa es distribuir el conocimiento compartido entre pares de agentes. La principal ventaja de esta alternativa es que si un par de agentes encuentran un acuerdo favorable para ambos, se modificará en 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.

### Ejemplo 6.1

Require( $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, p$ )  
Request\_add( $\mathbf{a}_2, \mathbf{a}_1, q$ )  
Authorize( $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, q$ )  
Request\_add( $\mathbf{a}_2, \mathbf{a}_1, p$ )  
Authorize( $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, p$ )  
Accept( $\mathbf{a}_2, \mathbf{a}_1, p$ )

El agente  $\mathbf{a}_2$  recién acepta construir una garantía para  $p$  cuando  $\mathbf{a}_1$  autoriza el efecto colateral  $q$ . El diálogo vuelve a concluir con el acuerdo entre  $\mathbf{a}_1$  y  $\mathbf{a}_2$ , no van a necesitar la aprobación de los demás miembros del grupo.

Aún así los diálogos pueden involucrar a varios agentes, como en el siguiente ejemplo:

### Ejemplo 6.2

Require( $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, p$ )  
Require( $\mathbf{a}_2, \mathbf{a}_1, q$ )  
Unable( $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, q$ )  
Require( $\mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3, q$ )  
Request\_add( $\mathbf{a}_3, \mathbf{a}_2, q$ )  
Authorize( $\mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3, q$ )  
Accept( $\mathbf{a}_3, \mathbf{a}_2, q$ )  
Request\_add( $\mathbf{a}_2, \mathbf{a}_1, p$ )  
Authorize( $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, p$ )  
Accept( $\mathbf{a}_2, \mathbf{a}_1, p$ )

En el ejemplo  $\mathbf{a}_1$  inicia el diálogo con una propuesta en la que solicita  $p$  a  $\mathbf{a}_2$ . El agente  $\mathbf{a}_2$  puede construir una garantía para  $p$  pero para hacerlo necesita  $q$ . El agente  $\mathbf{a}_1$  no tiene conocimiento suficiente para atender la contrapropuesta y así lo informa. El agente  $\mathbf{a}_2$  solicita  $q$  a  $\mathbf{a}_3$ , quien acepta la propuesta.

En el ejemplo que sigue  $\mathbf{a}_3$  no puede atender el requerimiento  $q$  porque existe conflicto con sus propios planes.

### Ejemplo 6.3

Require( $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, p$ )  
Require( $\mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3, q$ )  
Reject( $\mathbf{a}_3, \mathbf{a}_2, q$ )  
Indirect\_Reject( $\mathbf{a}_2, \mathbf{a}_1, \mathbf{a}_3, q$ )  
Insist( $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_3, q$ )

Accept( $\mathbf{a}_3, \mathbf{a}_1, q$ )  
Request\_add( $\mathbf{a}_3, \mathbf{a}_2, q$ )  
Authorize( $\mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3, q$ )  
Request\_add( $\mathbf{a}_2, \mathbf{a}_1, p$ )  
Authorize ( $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, p$ )  
Accept( $\mathbf{a}_2, \mathbf{a}_1, p$ )

El agente  $\mathbf{a}_2$  no encuentra un modo de colaborar con  $\mathbf{a}_1$  que no requiera del literal  $q$ , de modo que le informa a  $\mathbf{a}_1$  que no pudo satisfacer su requerimiento porque tuvo conflicto con  $\mathbf{a}_3$  respecto a  $q$ . Asumiendo que no hay más miembros en el grupo y que  $\mathbf{a}_1$  no encuentra una plan alternativo para sus metas, insiste solicitándole  $q$  a  $\mathbf{a}_3$ . Este último revisa sus planes y acepta colaborar. Es evidente que el protocolo puede complicarse considerablemente a medida que aparecen nuevos miembros en el grupo, pero la posibilidad de restringir los acuerdos entre pares de agentes, mejora las oportunidades de colaboración.

## 7. Conclusiones y trabajo futuro

En el modelo propuesto los miembros del sistema interactúan solicitando colaboración cuando sus creencias y capacidades resultan insuficientes para alcanzar sus metas. Cada solicitud inicia un proceso de negociación en el cual pueden establecerse varios diálogos, cada uno de ellos involucrando a dos agentes. El primero es por supuesto el que entabla el agente que realiza el requerimiento, con otro de los miembros del grupo. Cualquiera de los dos puede necesitar colaboración de un tercero, para atender una contrapropuesta, iniciando una nueva conversación, dentro del mismo proceso.

Una alternativa es que cada proceso de negociación comience cuando un agente realiza un requerimiento global de colaboración, enviando una solicitud de colaboración a todos los demás miembros del sistema. Algunos integrantes del grupo estarán abocados a sus propias metas y no estarán en condiciones de colaborar. Otros, en cambio, responderán mostrando su disposición para atender el requerimiento. El agente que realizó este requerimiento realiza entonces una propuesta de colaboración específica a alguno de los agentes dispuestos a ayudar.

Otra posibilidad es que cada agente *conozca* las habilidades de los demás miembros del grupo. En este caso, las solicitudes de colaboración se realizarán seleccionando previamente a aquellos que están más capacitados para atender la propuesta. Evidentemente esta alternativa puede agilizar considerablemente la interacción, pero requiere de un modelo más complejo.

En este trabajo, la negociación parte de la necesidad de coordinar intereses, en un contexto en el que ninguno de los participantes controla a los demás, pero sí puede influir en su comportamiento. Una extensión posible es organizar a los miembros del sistema de acuerdo a una *estructura social* dentro de la cual el rol que ocupa cada agente respecto a otro, afecte el diálogo y determinará hasta que punto puede influir en la actitud mental del receptor.

## 8. Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Secretaría General de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional del Sur y por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (PICT 2002 No. 13096).

## Referencias

- [1] S. V. Rueda, A. J. García, G. R. Simari. *Argument-based Negotiation among BDI Agents*. Journal of Computer Science and Technology, Vol. 2 No. 7, October 2002. Pp. 1-8.
- [2] G. R. Simari, A. J. García, M. Capobianco. *Actions, Planning and Defeasible Reasoning*. In Proceedings of the 10th International Workshop on Non-Monotonic Reasoning, June 6-8, 2004, Whistler BC, Canada. Pp. 377-384.
- [3] G. R. Simari, A. J. García. *Actions and Arguments: Preliminaries and Examples*, in Proceedings of the VIII Congreso Argentino en Ciencias de la Computación, Universidad de Buenos Aires, Argentina, 2002.
- [4] A. J. García, G. R. Simari. *Defeasible Logic Programming: An Argumentative Approach*. Theory and Practice of Logic Programming. **4**,1, pp. 95–138, 2004.
- [5] M. Capobianco, C. I. Chesñevar, G. R. Simari. *An argumentative formalism for implementing rational agents*, Proceedings of II Workshop en Agentes y Sistemas Inteligentes (WASI), VII CACIC, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, El Calafate, Argentina, pp. 1051–1062, 2001.
- [6] A. J. García, G. R. Simari, C. I. Chesñevar. *An Argumentative Framework for Reasoning with Inconsistent and Incomplete Information*, Workshop on Practical Reasoning and Rationality, 13th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI-98), England, pp. 13–20, 1998.
- [7] R. Fagin, J. Halpern, Y. Moses, M. Vardi. *Reasoning About Knowledge*, The MIT Press, Cambridge, MA 1995.
- [8] M. Wooldridge, N. R. Jennings. *Intelligent agents: Theory and Practice.*, The Knowledge Engineering Review **10**, pp.115-152, 1995.
- [9] N. R. Jennings, S. Parsons, P.Ñoriega, C. Sierra. *On Argumentation-Based Negotiation*, Proceedings of the International Workshop on Multi-Agent Systems, Boston, USA. 1998.
- [10] N. R. Jennings, K. Sycara, M. Wooldridge.  
*A Roadmap of Agent Research and Development*, in Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, **1**(1), pp. 7-38, 1998.

- [11] A. S. Rao, M. P. Georgeff. *BDI Agents: From Theory to Practice*, in Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS-95), San Francisco, USA, pp. 312–319, 1995.
- [12] M. Wooldridge. *Intelligent Agents*, in Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence, G. Weiss (Ed.), The MIT Press, pp. 27–78, 1999.
- [13] M. Huhns, L. Stephens. *Multiagent Systems and Societies of Agents*, in Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence, G. Weiss (Ed.), The MIT Press, pp. 79–120, 1999.
- [14] J. Müller. *Negotiation Principles*, in Foundations of Distributed Artificial Intelligence, G. M. P. O’Hare, N. R. Jennings (Eds.), John Wiley and Sons, pp. 211–230, 1996.
- [15] S. Kalenka, N. R. Jennings. *Socially Responsible Decision Making by Autonomous Agents*, in Proceedings of the 5th International Colloquium on Cognitive Science, Korta, K., Sosa, E., Arrazola (Eds.) , X. pp. 153–169, 1999.
- [16] J. E. Doran, N. Franklin, N. R. Jennings, T. Norman. *On Cooperation in Multi-Agent Systems*. The Knowledge Engineering Review, **12**(3), pp. 309–314, 1996.
- [17] Y. Labrou. *Semantics for an Agent Communication Language*. Ph.D. Thesis, University of Maryland, 1996.
- [18] M. E. Bratman, D. J. Israel, M. E. Pollack. *Plans and Resource-Bounded Practical Reasoning*. Computational Intelligence, **4**, pp. 349–355, 1988.
- [19] J. Searle. *Speech Acts: An Essay in the Philosophy of Language*. Cambridge University Press, 1969.
- [20] J. L. Austin. *How to Do Things with Words*. Harvard University Press, 1969.
- [21] H. J. Levesque, P. R. Cohen, J. H. T. Nunes. *On Acting Together*, in Proceedings of the Eight National Conference on Artificial Intelligence, pp. 94–99, 1990.
- [22] P. R. Cohen, H. J. Levesque. *Intention is Choice with Commitment*. Artificial Intelligence, **42**, pp. 213–261, 1990.
- [23] P. R. Cohen, H. J. Levesque. *Rational Interaction as the Basis for Communication*. In P. R. Cohen, J. Morgan, M. E. Pollack (Eds.) *Intentions in Communication*, pp 221–256. The MIT Press, 1990.