

Negociación de Creencias entre Agentes Colaborativos

Sonia V. Rueda
svr@cs.uns.edu.ar

Guillermo R. Simari
grs@cs.uns.edu.ar

Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación
Universidad Nacional del Sur
Av. Alem 1253, (8000) Bahía Blanca, Argentina

Resumen

El objetivo de este trabajo es proponer un protocolo de negociación para un grupo heterogéneo de agentes colaborativos. Cada miembro del grupo utiliza un modelo de planificación basada en argumentación y puede solicitar colaboración cuando su conocimiento o sus habilidades resultan insuficientes para alcanzar sus metas. Para efectivizar la colaboración los agentes están dotados de ciertas capacidades sociales que les permiten realizar y recibir propuestas. La interacción puede provocar conflictos entre las creencias de los distintos miembros del grupo, en cuyo caso los participantes tienen que acordar un curso de acción aceptable para todos. El acuerdo se establece mediante un proceso de negociación. Mostraremos una serie de ejemplos que permiten explorar las capacidades y posibles dificultades que aparecen en el desarrollo de este proceso.

1. Introducción

Un agente racional elabora y ejecuta un plan con la expectativa de satisfacer una meta. El plan de un agente individual se construye considerando su conocimiento acerca del mundo y las acciones que es capaz de realizar.

Cuando un agente forma parte de una comunidad, puede considerar no sólo el conocimiento y las acciones propias, sino también el conocimiento compartido y las habilidades de los miembros del sistema en el que participa. Como contrapartida, sus acciones pueden afectar los planes de los demás integrantes del grupo. Si la actitud de cada uno de ellos es cooperativa, las solicitudes de colaboración y los conflictos pueden resolverse mediante un proceso de negociación.

La negociación produce un diálogo en el cual los participantes intercambian propuestas y contrapropuestas intentando llegar a un acuerdo general. La interacción termina cuando hay aceptación, rechazo sin contrapropuesta o alguno de los participantes se retira. El proceso podría estar controlado por un agente que coordina el diálogo.

Este trabajo propone un protocolo de negociación en el cual los agentes solicitan colaboración cuando sus creencias resultan insuficientes para su propio proceso de planificación. Todos los participantes tienen una actitud cooperativa y cuando se presenta un conflicto entre las creencias buscan un acuerdo.

2. La construcción del plan

Un agente tiene cierto conocimiento acerca del mundo y algunas habilidades que le permiten modificarlo con la intención de alcanzar sus metas. Su conocimiento le permite considerar diferentes mundos posibles, pero es incompleto. Un agente conoce un hecho si ese hecho es válido en todos los mundos que considera posibles. Cuando incorpora conocimiento, algunos mundos dejan de ser posibles para él. Así, cuanto mayor sea el conocimiento de un agente, menor será el conjunto de mundos posibles [9].

La capacidad esencial de un agente racional es la de elaborar y ejecutar planes. Para su construcción, el agente considera su conocimiento acerca del estado actual del mundo, sus creencias, sus expectativas respecto al estado deseado, sus deseos y sus habilidades para transformarlo. La ejecución de un plan provoca a su vez cambios en sus creencias, generando una interacción dinámica y continua.

En este trabajo el conocimiento de cada agente está representado por una base de conocimiento y las habilidades están asociadas con acciones que al aplicarse cambian esta base de conocimiento, agregando o removiendo hechos.

Las acciones tienen precondiciones y consecuencias. Cada acción puede aplicarse sólo si sus precondiciones se satisfacen de alguna manera. Su ejecución provoca consecuencias que pueden modificar dicha base de conocimiento. Un plan es una secuencia de acciones que al ejecutarse provocarán consecuencias que pueden modificar la base de conocimiento.

2.1. Argumentación Rebatible

La base de conocimiento de un agente se representa usando el lenguaje de la Programación en Lógica Rebatible (Defeasible Logic Programming, DeLP) [2, 3, 4], un paradigma de programación en lógica, basado en un formalismo de argumentación rebatible [1]. 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 la base de conocimiento, con la intención de garantizar nuevas conclusiones.

En DeLP una base de conocimiento $K = (\mathcal{C}; \mathcal{C})$, consta de un conjunto consistente de hechos \mathcal{C} y un conjunto de reglas rebatibles \mathcal{C} . El conocimiento estricto y las reglas rebatibles se usan para inferir conclusiones. Estas conclusiones quedan garantizadas por el formalismo de argumentación rebatible subyacente en DeLP.

Un literal h está garantizado si existe un argumento A sin derrotadores que lo soporta. Un argumento A para h es un conjunto mínimo y consistente de reglas rebatibles que, junto con \mathcal{C} permiten inferir h . Para establecer si A es un argumento sin derrotadores se realiza un análisis dialéctico, en el cual se consideran todos los contrargumentos que, de acuerdo a algún criterio, podrían derrotarlo.

Las acciones que el agente es capaz de ejecutar se representan mediante un conjunto \mathcal{A} . Cada acción A en \mathcal{A} es una terna ordenada $\langle P, X, C \rangle$, donde P es el conjunto de precondiciones para A , X es un conjunto consistente de literales representando las consecuencias de A , y C es un conjunto de restricciones de la forma $\text{not } L$, donde L es un literal. Una acción se denota como:

$$fXg \bar{A}_i \text{ fPg; not fCg}$$

o bien:

$$\neg X_1; \dots; X_n \wedge A_i \wedge P_1; \dots; P_m; \text{not } C_1; \dots; C_k$$

La revisión consiste en remover todos los literales de \odot que son el complemento de los literales de X y luego agregar X a \odot . Formalmente:

$$\odot^{\wedge X} = \odot^{\wedge \neg X_1; \dots; X_n} = (\odot \setminus \bar{X}) \cup X$$

La ejecución de una acción puede provocar que algunas de las precondiciones se consuman. En este caso el complemento de la precondición formará parte de las consecuencias de la acción.

2.2. Planificación basada en argumentación

Cuando un agente a tiene una meta g , y g no está garantizada por $(\odot; \Phi)$, a puede buscar una acción A que modifique la base de conocimiento de forma tal que pueda obtenerse un argumento sin derrotadores que soporte a g . Si A no puede ejecutarse porque sus precondiciones no están garantizadas, a puede buscar una secuencia de acciones que le permitan establecerlas. La secuencia completa, incluyendo a A , conforman un plan para g .

Cada acción puede modificar la base de conocimiento agregando literales que permitan construir nuevos argumentos.

En la elaboración de un plan se seleccionan acciones que al ejecutarse van a permitir obtener garantías y se obtienen garantías para asegurar que las acciones van a poder ejecutarse. La selección de acciones no es una tarea trivial y los problemas clásicos de planificación se reflejan en el esquema argumentativo. En una secuencia de acciones $[A_1, A_2]$, A_2 puede ser aplicable de acuerdo al estado inicial \odot , pero no luego de que A_1 se ejecute. En efecto, las consecuencias de A_1 pueden modificar \odot de modo tal que las precondiciones de A_2 no estén garantizadas.

La ejecución de A_1 puede:

- Agregar literales que permitan construir nuevos derrotadores para las precondiciones de A_2
- Eliminar literales que permiten construir garantías para las precondiciones de A_2

El criterio propuesto en [1] para seleccionar acciones es minimizar:

- Los cambios no deseados
- Las precondiciones
- Las restricciones

Cuando un agente forma parte de un grupo, sus acciones pueden interferir con los planes de los demás miembros. Si su actitud es colaborativa, solicitará autorización para provocar cambios que puedan afectar a otros. Describiremos ahora algunas de las situaciones que se presentan durante la interacción de este tipo de agentes.

3. Agentes colaborativos

El comportamiento de un agente aislado queda determinado por sus motivaciones individuales, su conocimiento acerca del mundo y sus propias habilidades. Esta caracterización resulta insuficiente para modelar a un agente que interactúa en un contexto social, con una actitud cooperativa.

El conocimiento de un agente social se construye a partir de su percepción del mundo que lo rodea, pero existen algunos elementos cognitivos compartidos por todos los integrantes del sistema. Cada individuo conocerá estos hechos y además razonará sabiendo que los demás también los conocen y saben que son compartidos [5].

El conocimiento de cada miembro del sistema es incompleto y con frecuencia resulta insuficiente para deducir un hecho específico a partir de él, que sí podría deducirse reuniendo todo el conocimiento distribuido en el grupo. El grupo es heterogéneo, de modo que sus miembros tienen habilidades diferentes. Cada uno construye planes a partir de su propio repertorio de acciones, pero cuando solicita colaboración, otro miembro del grupo puede ejecutar acciones para lograr atender el requerimiento.

Ejemplo 3.1 Sea \mathcal{C}_c la base de conocimiento compartida, $K_1 = (\mathcal{C}_1; \Phi_1)$ y $K_2 = (\mathcal{C}_2; \Phi_2)$ las bases de conocimiento propias de a_1 y a_2 , definidas como sigue:

$$\mathcal{C}_c = fa; bg$$

$$\mathcal{C}_1 = fd; \gg eg$$

$$\mathcal{C}_2 = ff g$$

$$\Phi_1 = f(p \mid < d); (q \mid < a; \gg e; f); (r \mid < c)g$$

$$\Phi_2 = f(v \mid < a); (w \mid < f; g)g$$

i_1 el conjunto de acciones disponibles para a_1 conteniendo: $fcg \overset{A_1}{\vdash} fb; dg; \text{not } fg$

i_2 el conjunto de acciones disponibles para a_2 conteniendo: $fg; \gg bg \overset{A_2}{\vdash} fag; \text{not } fg$

El agente a_1 no es capaz de construir una garantía para q usando su conocimiento propio y el conocimiento compartido, pero sí podría hacerlo si reuniera todo su conocimiento al de a_2 :

Reunir el conocimiento de todos los miembros del grupo, invalida las ventajas de trabajar con una comunidad de agentes. En definitiva todo el modelo podría volver a reducirse a un único agente. Una alternativa que respeta el paradigma, es que los agentes interactúen solicitando colaboración cuando su conocimiento o habilidades resultan insuficientes. El grupo es heterogéneo y todos pueden beneficiarse si cooperan entre sí. Sin embargo, el contacto social requiere de alguna capacidad para resolver los conflictos que puede provocar la interacción.

En el ejemplo 3.1, si a_2 tiene la intención de construir una garantía para w puede decidir ejecutar A_2 , de modo tal que g se transforme en un hecho y w quede garantizado. El efecto colateral de A_2 será modificar el conocimiento compartido, removiendo b .

$$\mathcal{C}_c^0 = fa; \gg bg$$

$$\odot_2^0 = ff; gg$$

Su decisión puede entrar en conflicto con el plan de a_1 , si este tiene la intención de ejecutar A_1 para construir una garantía que sostenga a r .

Los agentes son autónomos y esa cualidad se refleja en el hecho de que ninguno va a sufrir modificaciones en su base de conocimiento como consecuencia de una acción ejecutada por otro agente. Sin embargo, todos los miembros del grupo pueden modificar el conocimiento compartido. Más aún, cada agente mantiene la consistencia entre su propio conocimiento y el conocimiento compartido, pero no puede controlar la consistencia entre el conocimiento de los demás agentes y el conocimiento compartido. La interacción social requiere que cada agente se comunique con los demás antes de ejecutar una acción que puede afectar las creencias del grupo.

Los agentes tienen una actitud colaborativa, ofrecen su conocimiento y sus habilidades a los demás integrantes del grupo e intentan evitar que sus acciones perjudiquen a los demás. Cada uno de ellos puede solicitar colaboración proponiendo la ejecución de una acción específica o solicitando conocimiento necesario para realizar el mismo una acción.

3.1. Negociación de creencias

Cuando un agente a_1 requiere de un literal h y no puede encontrar una garantía para h a partir de las bases de conocimiento K_1 y \odot_c , ni elaborar una secuencia de acciones que le permitan agregarlo a su conjunto de creencias, puede solicitar colaboración de otro miembro del grupo. Un agente a_2 recibe entonces una propuesta de a_1 respecto al literal h . En el caso más simple a_2 conoce h y la solicitud puede atenderse en forma directa agregando h al conocimiento compartido y notificando a a_1 .

Ejemplo 3.2 Consideremos el conocimiento compartido \odot_c y las bases de conocimiento propias de a_1 y a_2 , $K_1 = (\odot_1; \Phi_1)$ y $K_2 = (\odot_2; \Phi_2)$ respectivamente:

$$\odot_c = fag$$

$$\odot_1 = fb; dg$$

$$\odot_2 = fe; \gg fg$$

$$\Phi_1 = f(p \mid < b); (q \mid < a; b; e)g$$

$$\Phi_2 = f(v \mid < a; \gg f); (w \mid < g)g$$

i_1 el conjunto de acciones disponibles para a_1 conteniendo: $fcg \hat{A}_1 \mid fdg; not fg$

i_2 el conjunto de acciones disponibles para a_2 conteniendo: $fgg \hat{A}_2 \mid fa; eg; not fg$

El agente a_1 necesita e para poder construir un argumento sin derrotadores que soporte a q y realiza una solicitud a a_2 . El literal está dentro del conocimiento propio de a_2 de modo que la respuesta es inmediata. El conocimiento compartido será entonces:

$$\odot_c^0 = fa; eg$$

$$\odot_2^0 = f \gg fg$$

Si el grupo está integrado únicamente por dos agentes y uno de ellos puede satisfacer una propuesta sin ejecutar ninguna acción, la modificación de \mathbb{C}_c no va a provocar conflictos, ya que el único literal que se agrega es justamente el que se solicitó. Si el grupo es más numeroso, puede haber conflicto con las creencias de otros integrantes del grupo.

Un agente puede solicitar un literal para construir una garantía, como en el ejemplo anterior, o porque este forma parte de las precondiciones de alguna acción que necesita ejecutar.

Ejemplo 3.3 Consideremos el conocimiento compartido \mathbb{C}_c y las bases de conocimiento propias de a_1 y a_2 , $K_1 = (\mathbb{C}_1; \Phi_1)$ y $K_2 = (\mathbb{C}_2; \Phi_2)$ respectivamente:

$$\mathbb{C}_c = fag$$

$$\mathbb{C}_1 = fb; d; eg$$

$$\mathbb{C}_2 = f \gg f; gg$$

$$\Phi_1 = f(p \mid < b); (q \mid < a; b; c; s); (r \mid < d); (s \mid < e)g$$

$$\Phi_2 = f(v \mid < a; \gg f); (w \mid < j)g$$

i_1 el conjunto de acciones disponibles para a_1 conteniendo: $f; c; g; \mathbb{A}_1^1; fe; g; rg; \text{not } fg$

i_2 el conjunto de acciones disponibles para a_2 conteniendo: $f; j; g; \mathbb{A}_2^2; fa; gg; \text{not } fg$

El agente a_1 necesita c para poder construir un argumento sin derrotadores que soporte a q y su razonamiento le indica que si ejecutara \mathbb{A}_1^1 el literal c se agregaría a \mathbb{C}_1 . Sin embargo, una de las precondiciones de \mathbb{A}_1^1 no se satisface. El literal e pertenece a \mathbb{C}_1 , el argumento $\mathbb{A}_{a_1} = f(r \mid < d)g$ sostiene a r , pero su conocimiento no le permite garantizar g . Realiza entonces una propuesta a a_2 solicitando g . El literal está dentro del conocimiento propio de a_2 de modo que la respuesta es inmediata. El conocimiento compartido será nuevamente:

$$\mathbb{C}_c^0 = fa; gg$$

$$\mathbb{C}_2^0 = f \gg f; gg$$

El agente a_1 puede ejecutar ahora \mathbb{A}_1^1 de modo que c se agregue a \mathbb{C}_1 y el argumento $\mathbb{A}_{a_2} = f(q \mid < a; b; c; s), (s \mid < e)g$ sostenga a q .

Si a_1 solicita h y el literal no pertenece a \mathbb{C}_2 , a_2 intenta ejecutar una acción que le permitan agregar h al conjunto de creencias compartidas. Si tiene éxito, modifica \mathbb{C}_c agregando h .

Ejemplo 3.4 Dadas \mathbb{C}_c y las bases de conocimiento propias de a_1 y a_2 , $K_1 = (\mathbb{C}_1; \Phi_1)$ y $K_2 = (\mathbb{C}_2; \Phi_2)$ definidas como sigue:

$$\mathbb{C}_c = fag$$

$$\mathbb{C}_1 = fb; dg$$

$$\mathbb{C}_2 = fe; \gg f; gg$$

$$\Phi_1 = f(p \mid < b); (q \mid < c; d)g$$

$$\Phi_2 = f(r \mid < a; e); (s \mid < a; t); (t \mid < e); (\gg t \mid < v); (v \mid < \gg f); (\gg v \mid < g)g$$

i_1 el conjunto de acciones disponibles para a_1 conteniendo: $fcg \hat{A}_1^1$ $fa; jg; not fg$

i_2 el conjunto de acciones disponibles para a_2 conteniendo: $fjg \hat{A}_1^2$ $fa; g; sg; not fg$

El agente a_1 necesita q pero no es capaz de construir un argumento que lo soporte. Su razonamiento le dice que puede ejecutar A_1 , de modo que c se agregue a \mathcal{C}_1 , pero para hacerlo necesita j . Solicita j a a_2 , y este decide ejecutar la acción A_2 para agregar j a \mathcal{C}_c .

Notemos que las precondiciones de A_2 son los literales $a, g,$ y s . Los dos primeros pertenecen a \mathcal{C}_c y \mathcal{C}_2 respectivamente. El agente a_2 construye $A_{b1} = f(s \mid < a; t), (t \mid < e)g$ que es un argumento para s . A_{b1} es derrotado por $A_{b2} = f(\gg t \mid < v), (v \mid < \gg f)g$ que ataca a t . Pero A_{b2} es derrotado por $A_{b3} = f(\gg v \mid < g)g$. Así, s está garantizado porque está soportado por el argumento A_{b1} , que sólo tiene un derrotador A_{b2} , que a su vez es derrotado por A_{b3} y este último no tiene derrotadores.

Luego de que a_2 ejecute A_2 el conocimiento compartido se modifica:

$$\mathcal{C}_c^0 = fa; jg$$

Ahora, a_1 puede ejecutar A_1 , generar $\mathcal{C}_1^0 = fb; c; dg$ y construir un argumento $A_{a2} = f(q \mid < c; d)g$ que soporte a q . A_{a2} no tiene contrargumentos que lo derroten, de modo que q está garantizado.

Con frecuencia la labor de a_2 no va a limitarse a hallar una acción simple que le permita agregar h a \mathcal{C}_c . Para satisfacer la propuesta de a_1 , el agente va a tener que hallar un plan en el cual h sea una de las poscondiciones de la última acción de la secuencia.

Ejemplo 3.5 Dadas \mathcal{C}_c y las bases de conocimiento propias de a_1 y a_2 , $K_1 = (\mathcal{C}_1; \mathcal{C}_1)$ y $K_2 = (\mathcal{C}_2; \mathcal{C}_2)$ definidas como sigue:

$$\mathcal{C}_c = fag$$

$$\mathcal{C}_1 = fb; dg$$

$$\mathcal{C}_2 = f\gg f; gg$$

$$\mathcal{C}_1 = f(p \mid < b); (q \mid < c; d)g$$

$$\mathcal{C}_2 = f(r \mid < a; \gg f); (s \mid < a; t); (t \mid < e)g$$

i_1 el conjunto de acciones disponibles para a_1 conteniendo: $fcg \hat{A}_1^1$ $fa; jg; not fg$

i_2 el conjunto de acciones disponibles para a_2 conteniendo:

$$fjg \hat{A}_1^2 \quad fa; g; sg; not fg$$

$$feg \hat{A}_1^3 \quad fgg; not fg$$

Como antes, el agente a_1 necesita q pero no es capaz de construir un argumento que lo soporte y solicita j a a_2 . Este último no es capaz de obtener j a través de la ejecución de una única acción, pero elabora un plan cuya primera acción, A_3 , le va a permitir agregar e a sus creencias. Ahora, $A_{b1} = f(s \mid < a; t), (t \mid < e)g$ garantiza s y se satisfacen las precondiciones que le permiten ejecutar A_2 .

Luego de que a_2 ejecute A_2 el conocimiento compartido se modifica como en el ejemplo anterior, y a_1 puede ejecutar A_1 , generar $\mathcal{C}_1^0 = fb; c; dg$ y construir un argumento sin derrotadores para q .

El agente a_2 puede fallar en su intento de satisfacer la propuesta de a_2 respecto a h , pero en el proceso puede identificar a algún literal k que de estar garantizado permitiría hacerlo. En este caso, a_2 puede realizar una contrapropuesta, solicitándole k a a_1 . Si a_1 es capaz de construir un plan que le permita alcanzar k , agrega k en el conocimiento compartido. En cualquier caso, a_1 se comunica con a_2 para notificar el resultado de la interacción.

3.2. Efectos colaterales

Como vimos, las acciones ejecutadas para cambiar el mundo pueden modificar la base de conocimiento compartido y producir así efectos colaterales no previstos. En efecto, a_1 solicita colaboración de a_2 con la intención de ejecutar el mismo una acción A_1 . Sin embargo, probablemente h no sea la única precondición de A_1 , en cuyo caso ninguna de las acciones ejecutadas por a_1 o a_2 deberían modificar el mundo, provocando que las precondiciones garantizadas dejaran de estarlo.

Ejemplo 3.6 Dadas \mathcal{C}_c y las bases de conocimiento propias de a_1 y a_2 , $K_1 = (\mathcal{C}_1; \Phi_1)$ $K_2 = (\mathcal{C}_2; \Phi_2)$ definidas como sigue:

$$\mathcal{C}_c = fa; bg$$

$$\mathcal{C}_1 = fd; eg$$

$$\mathcal{C}_2 = f \gg f; gg$$

$$\Phi_1 = f(p \mid < a); (q \mid < d; \gg w); (\gg w \mid < b; j)g$$

$$\Phi_2 = f(r \mid < a; \gg f)g$$

i_1 el conjunto de acciones disponibles para a_1 conteniendo: $fcg \hat{A}_1^1$ feg ; not fg

i_2 el conjunto de acciones disponibles para a_2 conteniendo: fj ; $\gg bg \hat{A}_2^2$ fa ; gg ; not fg

Si a_1 necesita q , el argumento $A_{a_1} = f(q \mid < d; \gg w), (\gg w \mid < b; j)g$ podría sostenerlo, pero a_1 no puede construir una garantía para j y solicita colaboración a a_2 . a_2 tampoco es capaz de construir directamente un argumento que soporte a j a partir de K_2 , pero puede ejecutar A_2 , de modo tal que j se transforme en un hecho. Pero ahora, después de ejecutarse A_2 , el conocimiento compartido se modifica no sólo para agregar j y satisfacer la propuesta de a_1 , sino también porque b se remueve.

$$\mathcal{C}_c^0 = fa; \gg b; jg$$

El agente a_1 había solicitado j para construir una garantía para q , pero para ello también necesitaba b , que ahora no forma parte del conocimiento compartido.

Una situación similar se produce si a_1 realiza una propuesta a a_2 solicitando un literal h que necesita para ejecutar una acción específica. La interacción no resultará ventajosa para a_1 , si para atender la propuesta a_2 modifica el conocimiento compartido afectando las precondiciones de la acción que a_1 pensaba ejecutar.

Ejemplo 3.7 Dadas \mathcal{C}_c y las bases de conocimiento propias de a_1 y a_2 , $K_1 = (\mathcal{C}_1; \Phi_1)$ $K_2 = (\mathcal{C}_2; \Phi_2)$ definidas como sigue:

$$\mathcal{C}_c = fa; bg$$

$$\mathcal{C}_1 = fd; eg$$

$$\mathcal{C}_2 = f \gg f; gg$$

$$\Phi_1 = f(p \mid < a); (q \mid < d; \gg w); (\gg w \mid < c)g$$

$$\Phi_2 = f(r \mid < a; \gg f)g$$

i_1 el conjunto de acciones disponibles para a_1 conteniendo: $f; c; g; \mathcal{A}_1^1; fb; e; j; g; \text{not } fg$

i_2 el conjunto de acciones disponibles para a_2 conteniendo: $f; j; \gg; b; g; \mathcal{A}_2^2; fa; gg; \text{not } fg$

Como antes, a_1 necesita q . El argumento $A_{a_1} = f(q \mid < d; \gg w), (\gg w \mid < c)g$ podría sostener a q , pero a_1 necesita entonces ejecutar A_1 . La acción requiere a j como precondition y a_1 solicita colaboración a a_2 . a_2 tampoco es capaz de construir directamente un argumento que soporte a j a partir de K_2 , pero puede ejecutar A_2 y agregar j a \mathcal{C}_c . Después de ejecutarse A_2 , el conocimiento compartido se modifica, porque se agrega j y se remueve b . El agente a_1 había solicitado j con la intención de ejecutar A_1 , pero ahora la precondition b ya no forma parte del conocimiento compartido.

Para evitar que sus acciones perjudiquen a a_1 , cuando su actitud es justamente colaborar con él, a_2 puede comunicarle a a_1 su intención de agregar o remover un literal de \mathcal{C}_c , además del especificado en la propuesta. La comunicación puede pensarse como una contrapropuesta, tendiente a asegurar el beneficio mutuo.

Cuando a_1 recibe la contrapropuesta, analiza si la modificación en el mundo que plantea a_2 provoca algún conflicto con su propio conocimiento o con la acción que piensa realizar. En cualquier caso, se comunica con a_2 para aceptar o rechazar la contrapropuesta. Si a_1 acepta la contrapropuesta, a_2 ejecuta la secuencia de acciones que le permiten agregar h al conocimiento compartido y vuelve a comunicarse para indicar el éxito de su tarea.

Si el grupo incluye a otros agentes, todos tienen que estar de acuerdo para que el conocimiento compartido se modifique.

4. El protocolo de negociación

La negociación puede pensarse como un proceso de búsqueda distribuida sobre un espacio de acuerdos potenciales. En la mayoría de los casos sólo hay una porción del espacio de búsqueda que satisface las expectativas de cada agente particular.

La negociación produce un diálogo en el cual las partes interesadas intercambian información hasta llegar a un acuerdo. El proceso contiene entonces elementos de comunicación y decisión [7]. La comunicación es un elemento indispensable porque permite la interacción entre los miembros de la sociedad de agentes. Los aspectos relacionados con la decisión permiten modelar el razonamiento realizado por los negociadores. Este razonamiento determina a su vez tanto el comportamiento individual de los agentes, como el proceso global y los aspectos sociales de la negociación.

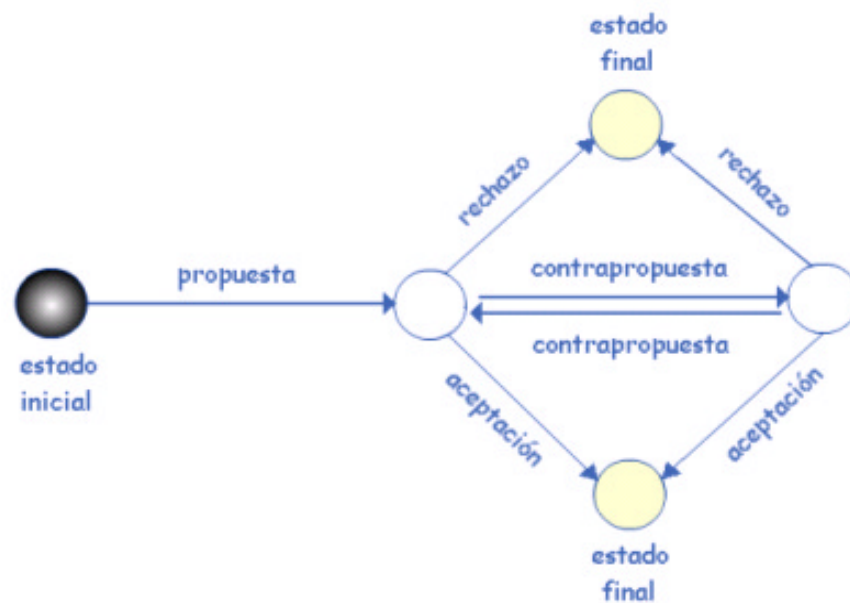


Figura 1: Protocolo Dialógico

Un agente realiza una propuesta dentro del espacio de acuerdos aceptables. Otro miembro del grupo recibe la solicitud y puede aceptarla, rechazarla o realizar una contrapropuesta. En este último caso el primer agente la analiza y nuevamente puede aceptar, rechazar o realizar una contrapropuesta.

La aceptación indica que se ha alcanzado un punto de acuerdo compartido. El rechazo implica que la negociación terminó sin éxito. En el proceso, es posible que uno o ambos participantes tengan que ceder y hacer algunas concesiones, pero si se llega a un estado final de aceptación, el acuerdo debe ser favorable para ambos. La figura 1 ilustra el protocolo de negociación de dos agentes colaborativos.

Bajo esta metáfora la negociación requiere que los agentes tengan ciertas capacidades mínimas:

- Realizar una propuesta dentro del espacio de situaciones aceptables.
- Aceptar o rechazar una propuesta
- Elaborar una contrapropuesta

Ambos participantes están interesados en alcanzar un acuerdo, tienen una actitud cooperativa y son capaces de comunicarse. Cuanta más información brinde cada contrapropuesta, más ágil puede llegar a ser el proceso y antes puede terminar la negociación.

Si el grupo incluye a más de dos miembros y la comunicación es directa, todos los agentes deben conocerse entre sí. Esta alternativa dificulta el ingreso y salida de los miembros al sistema. El proceso puede estar controlado por un tercer agente que actúe como coordinador de la negociación. El coordinador controla el diálogo recibiendo las propuestas y contrapropuestas que expresan las necesidades y preferencias de los agentes.

Las principales habilidades del coordinador son:

- Identificar a un agente idóneo para satisfacer una propuesta
- Detectar y manejar conflictos
- Terminar el diálogo

La terminación de la interacción puede producirse cuando hay aceptación, rechazo sin contrapropuesta o el coordinador considera que no tiene sentido continuar.

5. Conclusiones y trabajo futuro

Un agente racional elabora y ejecuta planes con la intención de lograr sus metas. La construcción de un plan considera las creencias del agente acerca del mundo y su ejecución puede modificarlas. Este trabajo parte de un modelo de planificación basado en argumentación, que saca provecho de un formalismo reconocido de Programación en Lógica Rebatible.

El conocimiento de un agente es incompleto y con frecuencia resulta insuficiente para elaborar un plan que le permita concretar sus metas. Cuando forma parte de una comunidad puede solicitar colaboración de los demás miembros del grupo. La interacción puede provocar conflictos entre las creencias, pero si la actitud es cooperativa los agentes intentarán llegar a un acuerdo mediante un proceso de negociación.

La negociación puede pensarse como un proceso de búsqueda distribuida sobre un espacio de acuerdos potenciales. En nuestra propuesta la búsqueda no se realiza siguiendo un esquema convencional sino a través de un mecanismo dialéctico, basado en argumentación. Los ejemplos presentados ilustran diferentes situaciones de negociación y algunas de las dificultades que pueden producirse.

La intervención de cada agente en el diálogo provoca un cambio en la dirección de la búsqueda. Al comenzar el proceso uno de los participantes especifica la porción del espacio de búsqueda que le resulta favorable. En general, cuanto más información brinde cada participante, más restringido queda el espacio de acuerdos y más eficiente es el proceso. El trabajo futuro estará orientado en este sentido.

La interacción entre los agentes podría mejorar considerablemente si el contexto brindara algunas convenciones que permitieran establecer acuerdos generales acerca del lenguaje, el significado y el comportamiento. Estas convenciones simplificarían el proceso de decisión de cada agente porque reducirían la incertidumbre respecto al comportamiento de los demás y eliminarían conflictos de significado.

Algunas convenciones tomarían el carácter de normas que estructuran las interacciones y obligan a los agentes a actuar de acuerdo a ellas. El sistema se transformaría entonces en una organización, en la cual cada agente tiene un comportamiento autónomo pero restringido.

En una organización cada integrante cumple un rol social que determina el modo en que actúa y se relaciona con los demás. El modelo propuesto se extendería para reoer el impacto de las normas, los roles y las relaciones en el proceso de negociación.

Referencias

- [1] Simari, G., García, A., Actions and Arguments: Preliminaries and Examples, Proceedings of the VII Congreso Argentino en Ciencias de la Computación, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, El Calafate, Argentina ISBN 987-96-288-6-1, 273-283, 2001
- [2] García, A. Defeasible Logic Programming: Definition, Operational Semantics and Parallelism, PhD thesis, Computer Science Department, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. 2000,
- [3] García, A., Simari, G., Parallel Defeasible Argumentation, Journal of Computer Science and Technology Special Issue: Artificial Intelligence and Evolutive Computation. Vol 1, Number 2, 45-57, 1999
- [4] García, A., Simari, G., Chesñevar C., An argumentative framework for reasoning with inconsistent and incomplete information, Workshop on Practical Reasoning and Rationality 13th biennial European Conference on Artificial Intelligence (ECAI-98) 1998
- [5] Fagin, R., Halpern J., Moses, Y., Vardi, M. Reasoning About Knowledge, The MIT Press, Cambridge, MA 1995.
- [6] Wooldridge, M. and Jennings, N., Intelligent agents: Theory and Practice., The Knowledge Engineering Review 10,pp.115-152, 1995.
- [7] Jennings, N.R, Parsons, S., Noriega, P., Sierra, C. On Argumentation-Based Negotiation Proc. Int. Workshop on Multi-Agent Systems, Boston, USA. 1998
- [8] Jennings, N., Sycara, K., Wooldridge, M., A Roadmap of Agent Research and Development, Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 1, pp.275-306, 1998.
- [9] Rao, A. S., and George® M. P., BDI Agents: From Theory to Practice Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS-95) pp.312-319 San Francisco, USA, 1995.
- [10] Wooldridge, M., Intelligent Agents, in Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence, G. Weiss (Ed.), The MIT Press, pp. 27{78,1999.
- [11] Huhns, M., Stephens, L., Multiagent Systems and Societies of Agents, The MIT Press, 1999.
- [12] MÅller, J., Negotiation Principles, Foundations of Distributed Artificial Intelligence, John Wiley and Sons, 1996.
- [13] Kalenka, S., Jennings, N., Socially Responsible Decision Making by Autonomous Agents, Proceedings of 5th Int. Colloq. on Cognitive Science, Eds. Korta, K., Sosa, E., Arrazola, X. pp.153-169, 1999.
- [14] Doran, J.E., Franklin, N., Jennings, N., Norman, T., On Cooperation in Multi-Agent Systems, The Knowledge Engineering Review 12(3) pp. 309-314, 1996.