



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

TESINA DE GRADO
PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE
LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

Modelo de Negociación Multilateral basada en Argumentación

Autor:
Emiliano D. Gorr

Directores:
Dra. Ana Casali
Dr. Pablo Pilotti

Departamento de Ciencias de la Computación
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Av. Pellegrini 250, Rosario, Santa Fe, Argentina

13 de Julio de 2018

La negociación automática se presenta como una forma de interacción entre agentes autónomos con deseos de cooperar y alcanzar acuerdos para poder cumplir sus objetivos o para aumentar sus utilidades. En las ciencias de la computación la negociación automática se suele estudiar desde distintos enfoques y en diversos escenarios. Este trabajo hace un aporte a la negociación automática basada en argumentación en entornos multilaterales presentando un modelo de negociación sobre un escenario compuesto por múltiples agentes bilaterales al que se incorpora un agente especial denominado mediador.

Estos agentes bilaterales, que son colaborativos y honestos, no pueden cumplir con sus objetivos por no contar con los recursos necesarios, por lo que deben negociar un intercambio de recursos que les permita conseguir lo necesario para alcanzar su objetivo. Estos agentes pueden tener conocimiento incompleto o incorrecto acerca del entorno de negociación. Al ser bilaterales, los agentes no pueden negociar simultáneamente con más de una contra-parte imposibilitando una negociación multilateral, por consiguiente se introduce en el entorno multiagente al agente mediador cuyo rol es el de ser la contra-parte de todos los agentes bilaterales que participan en la negociación.

En este trabajo, se introduce el modelo multilateral junto a una primera versión del agente mediador. Luego se presenta una segunda versión de agente mediador que incorpora un motor de inferencia. Ambas versiones utilizan revisión de creencias para actualizar su estado mental. Se realizan simulaciones para comparar las dos versiones, resultando ser la segunda versión con la que se logra mayor cantidad de acuerdos pero a un costo computacional mayor.

Palabras clave: Negociación Automática, Negociación Basada en Argumentación, Agentes Autónomos, Negociación Multilateral, Mediador

Agradecimientos

Quiero agradecer a mis directores, Ana y Pablo, por su apoyo, enseñanzas y el tiempo que me brindaron para que pueda realizar este trabajo. A todos los profesores que a lo largo de la carrera pusieron a disposición sus conocimientos.

A mis compañeros y amigos de la facu, en especial a Fede, Juampi, Julian y a el chino, con los que siempre pude contar y fueron un eslabón fundamental para que pueda concluir esta carrera.

A mis amigos de siempre, Fede y Gaby.

A Ale por su inmensa generosidad, amistad, apoyo y confianza; a Agus, Bere, a Vir imponiéndome deadlines bajo “amenazas” a las cuales, claramente, nunca temí... .. a Marian, Juan Cruz, Caín, Tomi, Brune, Flor, Pau, Diego, Manu, Juli y Gus. A Lucho y a Ricardo. A todo este “Team IGPI” porque sus empujoncitos diarios me ayudaron a llegar hasta el final de este camino, pero fundamentalmente porque son el principal motivo de que sea feliz trabajando en la inspección.

Y principalmente quiero agradecer a toda mi familia, que son todo. En especial a mis padres que me permitieron estudiar, me ayudaron, me enseñaron y me motivaron siempre. Y lo siguen haciendo. Son mi ejemplo a seguir.

A Papá, Mamá, Eli Y Meli; y a la Sofi.

Índice general

1. Sobre esta tesina.....	1
1.1 Motivación y objetivo.....	1
1.2 Estructura de la tesina	2
2. Conceptos preliminares	3
2.1 Negociación automática	3
2.1.1 Negociación basada en teoría de juegos	5
2.1.2 Negociación basada en heurística	7
2.1.3 Negociación basada en argumentación	7
2.2 Revisión de creencias	10
3. Modelos bilaterales de negociación basada en argumentación	11
3.1 Entornos Bilaterales	11
3.2 Agentes ABN con Revisión de Creencias	11
3.2.1 Modelizando el problema.....	12
3.2.2 Protocolo	14
3.2.3 Generación de propuestas.....	15
3.2.4 Interpretación de las propuestas	17
3.2.5 Resultados	18
3.3 Extendiendo el modelo	18
3.3.1 Diálogo	18
3.3.2 Críticas	19
3.3.3 Interpretación y generación de propuestas	20
3.4 Conclusiones	20

4. Modelo multilateral de negociación basada en argumentación.....	21
4.1 Modelos multilaterales de negociación automática	21
4.2 De Bilateral a Multilateral	22
4.3 Escenario de negociación.....	24
4.3.1 Sobre el mediador	25
4.4 Definiendo al Mediador.....	26
4.4.1 Estado mental del mediador	26
4.4.2 Mecanismo de decisión del mediador	29
4.5 Conclusiones	36
5. Incorporando un motor de inferencia	37
5.1 Limitaciones del modelo anterior	37
5.2 Enriqueciendo el modelo	38
5.2.1 Incorporando un motor inferencia.....	40
5.2.2 Mecanismo de decisión	41
5.3 Conclusiones	45
6. Simulaciones	47
6.1 Simulaciones	47
6.1.1 Escenarios de negociación.....	47
6.1.2 Implementación	47
6.2 Proceso y resultados	48
7. Conclusiones.....	51
7.0.1 Trabajos futuros	52
 Apéndice	 53
A. Formalización de revisión de creencias	55
B. Algoritmo de resolución	59

1.1. Motivación y objetivo

Es evidente como en los últimos años, se acrecentó la cantidad de dispositivos con capacidad de cómputo con los que interactuamos a diario. Probablemente debido a la reducción de costos de los componentes de hardware, la reducción de tamaño y el incremento en la potencia de procesamiento. En un futuro próximo se prevé un crecimiento exponencial en la cantidad de estos dispositivos dando lugar a una superpoblación de agentes, conformando sistemas multiagentes que resuelvan tareas por nosotros.

Podemos entender a estos agentes como [1] sistemas computacionales cuyas características principales son las de ser: autónomos, los agentes toman decisiones sin intervención externa en base a un estado (inaccesible para otros agentes); reactivos, los agentes están situados dentro de un entorno, el cual pueden percibir y reaccionar; proactivos, no solo actúan como reacción a algún estímulo percibido del entorno, también pueden "*tomar la iniciativa*"; sociables, es decir, pueden interactuar con otros agentes o humanos, a través de algún lenguaje de comunicación definido.

Actualmente podemos encontrar desde grandes desarrollos como lo son los autos autónomos, que según se vaticina cambiarán las estructuras de las ciudades, hasta desarrollos domésticos, como las aspiradoras autónomas. La lista podría extenderse largamente pensando en lo que ya existe y lo que imaginamos que vendrá.

Se puede imaginar una casa en pocos años: la heladera, dotada de inteligencia, aprende nuestros hábitos de consumo, detecta que en unos días nos quedaremos sin los ingredientes para prepararnos el desayuno e inmediatamente se predispone a hacer las compras. Busca en distintas tiendas para comparar los precios, busca ofertas, se decide y realiza la compra. Mientras tanto, las dos aspiradoras autónomas de la casa se ponen de acuerdo sobre que habitación limpia cada una.

El ejemplo anterior muestra que estos agentes probablemente necesiten interactuar entre ellos, ya sea para lograr sus propios objetivos o para formar sistemas multiagentes que resuelvan problemas de mayor complejidad. La interacción entre agentes se posiciona entonces como un eslabón fundamental en estos sistemas multiagentes, convirtiéndolo en uno de los temas importantes e interesantes para estudiar.

Respecto a la forma en que los agentes pueden interactuar, uno de los principales medios de interacción es el *diálogo*. El autor Douglas Walton [2] diferencia cinco tipos de dialogo: de persuasión, en donde las partes intentan convencer a su contra-parte que acepte determinada proposición; de búsqueda de información, en donde el objetivo de una de las partes es obtener información de la contra-parte, las entrevistas son un ejemplo de este tipo de dialogo; de negociación, en donde ambas partes buscan alcanzar un acuerdo sobre determinado objeto de negociación; de investigación, en donde las partes buscan colectivamente probar determinada proposición; y de disputa en donde el objetivo de cada parte es vencer al oponente sin importar cómo.

Dado que en los sistemas multiagentes muchas veces se presentan escenarios en donde los agentes presentan conflictos de intereses, como por ejemplo la necesidad de dividir recursos escasos o resolver diferencias entre las creencias de cada uno de ellos, resulta que una de las interacciones más estudiadas es la negociación, con el objetivo de lograr acuerdos entre las partes.

En las Ciencias de la Computación, la negociación automática se estudia desde distintos enfoques [15, 16]: orientado a la teoría de juegos, el heurístico y el basado en argumentación, siendo el primero de estos enfoques el más desarrollado. Sin embargo, el enfoque basado en argumentación despierta un interés especial, puesto que es el que más se asemeja a la forma en la que nos comunicamos los seres humanos: cada vez que expresamos una idea, realizamos un pedido, afirmamos, rechazamos, etc., brindamos argumentos que sustentan nuestra postura.

La negociación automática se ha estudiado en distintos contextos, bilaterales [4–7] en donde solo dos agentes interactúan y multilaterales [8–14] en donde múltiples agentes interactúan. Esencialmente, estos trabajos abordan el problema de la negociación automática desde los enfoques heurísticos u orientados a la teoría de juegos. Particularmente, bajo el enfoque basado en argumentación, debido a la complejidad que conlleva lidiar con las distintas aristas y alternativas que se presentan, los principales trabajos se enmarcan en contextos bilaterales [17, 21].

El objetivo de esta tesina es hacer un aporte a la negociación basada en argumentación en un contexto multilateral. Partiendo de diversos trabajos enmarcados en contextos bilaterales, se propone llevar la negociación a un contexto multilateral incorporando un agente especial denominado *mediador* que interactúe con los distintos agentes.

1.2. Estructura de la tesina

En el Capítulo 2 se presentan conceptos generales de negociación automática. Luego en el Capítulo 3 se presentan los trabajos de negociación automática en contextos bilaterales que sirven como base a esta tesina. En el Capítulo 4 se introduce el modelo de negociación multilateral, incorporando al agente mediador en un escenario de múltiples agentes bilaterales. En el Capítulo 5 se presenta una segunda versión del agente mediador que incorpora un motor de inferencia. En el Capítulo 6 se muestran los resultados de las simulaciones y finalmente en el Capítulo 7 se presentan las conclusiones y los trabajos futuros.

2.1. Negociación automática

La negociación, como interacción en las relaciones humanas, es una herramienta de uso cotidiano. Siendo tan complejas y diversas las personalidades, es habitual que surjan conflictos, desacuerdos, disputas, etc. La negociación nos permite lograr acuerdos en estos contextos, permitiéndonos convivir en sociedad civilizadamente.

Los agentes autónomos están programados para realizar tareas por nosotros, ¿qué sucede cuando esas tareas le requieren interactuar con otros agentes? ¿qué sucede si se presentan conflictos o desacuerdos? ¿pueden los agentes utilizar una herramienta como la negociación para resolver sus diferencias?

Estas inquietudes llevaron a que el estudio de la negociación automática ocupe un lugar importante en las ciencias de la computación. Los tres enfoques principales desde los que se aborda el estudio de la negociación automática son: *enfoque basado en la teoría de juegos*, *enfoque basado en heurística* y *enfoque basado en argumentación*. La forma de abordaje depende de las características del contexto que se estudia, como cantidad de agentes, conocimiento completo o incompleto, agentes con objetivos propios o grupales, agentes colaborativos o no, honestos o no, etc.

Imaginemos el siguiente escenario: un agente autónomo, representando a un ciudadano (AC) que quiere comprar un vehículo, negocia con el agente autónomo de una concesionaria (AV). Se da la siguiente secuencia de negociación:

- AC solicita el precio del modelo X color negro.
- AV informa \$400.000.
- AC realiza una propuesta de \$350.000.
- AV la rechaza, y hace una contra propuesta: puede ofrecer el modelo X color rojo a \$375.000.
- AC la rechaza y propone \$380.000 por el modelo X negro.
- AV la rechaza y propone el modelo X negro más el patentamiento a \$400.000

- AC acepta la propuesta.

Observando la negociación podemos identificar tres componentes que existen en el proceso de negociación:

1. Qué se está negociando: vehículo. El cual puede tener distintas características: modelo, precio, color.
2. Cómo negocian: AC inicia el diálogo y espera la respuesta, luego se intercambian ofertas y contra-ofertas alternadamente.
3. Estrategia de negociación: Los agentes aceptan la propuesta o la rechazan. Realizan concesiones y presentan contra-ofertas.

En general, estos tres elementos son característicos en las negociaciones automáticas [3]: *objeto de la negociación, protocolo de la negociación y modelo de decisión de los agentes.*

Los *objetos de negociación* son las cuestiones sobre las que se negocia. ¿Se está negociando un intercambio de recursos?, ¿el precio de un producto o servicio?, ¿un acuerdo de colaboración?. Se puede negociar sobre una única cuestión (el precio de un producto) o múltiples cuestiones (el precio y el color de un producto). Definir los objetos de negociación nos permite establecer el abanico de propuestas que se pueden realizar.

Adicionalmente, es necesario definir un lenguaje que les permita a los agentes comunicarse. Los elementos del *lenguaje de comunicación* en la negociación automática son *declaraciones* o *mensajes* que les permiten a los agentes expresarse ante su contra-parte. Generalmente se encuentran determinadas declaraciones básicas como: *propose* para hacer propuestas, *accept* para aceptar una propuesta o *reject* para rechazar una propuesta.

Paralelamente, en el marco de una negociación automática es necesario tener definido un *lenguaje de dominio* que permita identificar el objeto de negociación y sus características. Por ejemplo, la sentencia `Auto.color[rojo]` representando que el color del auto es rojo.

El *protocolo de negociación* es el conjunto de reglas que regulan la interacción. Quiénes pueden participar en la negociación, qué rol ocupa cada uno, quién puede mandar un mensaje (y a quién) en determinado momento.

Dentro del protocolo de negociación pueden existir otras reglas que regulen entre otras cosas:

- *Reglas de admisión:* qué agente puede participar en la negociación y bajo que condiciones.
- *Reglas para la terminación unilateral de una negociación:* cuando un agente puede retirarse de la negociación.
- *Reglas de terminación:* cuando debe terminar una negociación.
- *Reglas sobre la realización de las propuestas:* que propuesta puede realizarse. Por ejemplo, puede que un agente no tenga permitido realizar una propuesta que ya ha sido rechazada.

El *modelo de decisión de los agentes* es el mecanismo que utiliza el agente para decidir qué acción realizar (aceptar, rechazar, argumentar, proponer, etc.) con la intención de lograr su objetivo. El modelo de decisión está condicionado tanto por el objeto como por el protocolo de negociación.

En algunos escenarios de negociación automática pueden encontrarse otros componentes, como pueden serlo las *bases de información*, que sirven para contener información externa a la cual

puedan acceder los agentes. Por ejemplo, se puede guardar el historial de negociación para futuras referencias, o información sobre la reputación de los participantes.

Otra cuestión a tener en cuenta es el número de agentes involucrados en la negociación. Rápidamente podemos identificar tres escenarios [15]:

- *Uno a Uno (bilateral)*: En este caso, son solo dos los agentes que negocian. Probablemente exista un conflicto de intereses o tengan preferencias distintas, lo que los lleva a negociar buscando llegar a un acuerdo. En el ejemplo anterior, el agente comprador busca obtener el precio más bajo, lo contrario el agente vendedor.
- *Muchos a Uno*: Un agente negocia con muchos al mismo tiempo. Volviendo al ejemplo anterior, imaginemos que sólo hay un vehículo modelo X color negro y varios compradores que desean ese vehículo. El vendedor negociará con todos y buscará obtener el precio más alto, ya que ese es su objetivo. La negociación se convierte en una subasta. Las subastas son un ejemplo de negociación "muchos a uno".
- *Muchos a Muchos*: Los agentes negocian simultáneamente con varios agentes. Siguiendo con el ejemplo, imaginemos que hay varias concesionarias que ofrecen el vehículo modelo X negro y varios compradores

2.1.1. Negociación basada en teoría de juegos

La teoría de juegos es uno de los estudios matemáticos de estrategias para tomar decisiones [15]. Si bien originalmente se desarrolló en el campo de los juegos recreativos como el ajedrez, la teoría de juegos se puede aplicar en todos los escenarios en donde agentes con intereses propios tienen que interactuar con otros y tomar decisiones estratégicas.

Generalmente, un "*juego*", dentro de la teoría de juegos tiene las siguientes especificaciones:

- Los jugadores.
- Las elecciones que pueden hacer los jugadores.
- Las creencias de los jugadores (acerca del juego y de los otros jugadores).
- Los posibles resultados del juego.
- Las preferencias de los jugadores sobre los posibles resultados.

La teoría de juegos se puede interpretar como una teoría descriptiva, que busca identificar cuál será el resultado del juego, asumiendo que los jugadores actúan de forma racional en la búsqueda de su objetivo, o como una teoría normativa, que da recomendaciones a los jugadores de cómo deberían actuar. En la negociación automática, por las características del problema a resolver, se tiende a realizar una interpretación normativa de la teoría de juegos.

Una forma típica de clasificar estos juegos se basa en la sumatoria de las utilidades de todos los jugadores. Si esta suma da cero estamos en presencia de un integrante del grupo de los *juegos de suma cero*. Es decir, la ganancia en la utilidad de uno de los jugadores resulta en una pérdida de la misma cantidad en las utilidades del adversario.

Para un ejemplo simple, imaginemos dos jugadores que poseen una moneda cada uno. Cada jugador elige secretamente cara o cruz. Cuando se develan las elecciones, si ambos jugadores hicieron misma elección, las dos monedas quedan para el jugador 1, caso contrario, ambas monedas

quedan para el jugador 2. En este juego, el jugador ganador tendrá una utilidad de +1 (tendrá una ganancia), mientras que el jugador perdedor tendrá una utilidad de -1 (sufrirá una pérdida).

Estas ganancias/pérdidas de cada jugador según las estrategias que elijan, puede representarse en una matriz de utilidad. Suponiendo que el jugador 1 tiene m estrategias posibles, y el jugador 2 tiene n , formamos una matriz $m \times n$, donde la celda (i, j) contiene $\{U_i, U_j\}$, siendo estas las utilidades del jugador 1 y del jugador 2, respectivamente, cuando el jugador 1 decide utilizar la estrategia i y el jugador 2 la estrategia j .

En el ejemplo anterior, la matriz de utilidad es la siguiente:

		Jugador 2	
		ESTRATEGIA	Cara
Jugador 1	Cara	{+1,-1}	{-1,+1}
	Cruz	{-1,+1}	{+1,-1}

Haciendo una analogía de este juego y la negociación automática, podemos pensar que las dos monedas son recursos y los jugadores deben negociar cómo dividírselos.

En el mundo real, es muy difícil encontrar estas situaciones de suma cero. La mayoría de las situaciones de conflicto, son de no suma cero. Para ejemplificar esto, un problema conocido en teoría de juegos es el llamado “*Dilema del Prisionero*”:

Dos hombres son arrestados y acusados de un crimen. Los encierran en celdas separadas sin la posibilidad de que se comuniquen entre ellos y se les hace la siguiente propuesta:

- Si uno confiesa pero el otro no. El prisionero que confeso saldrá en libertad y el otro será condenado a 3 años de prisión.
- Si ambos confiesan, serán condenados a 2 años en prisión.
- Si ninguno confiesa, ambos permanecerán 1 año en prisión.

Podemos relacionar estrategia con utilidad en la siguiente matriz:

		Prisionero 2	
		ESTRATEGIA	Confesar
Prisionero 1	Confesar	{-2,-2}	{0,-3}
	No Confesar	{-3,0}	{-1,-1}

Si nos ponemos en lugar del prisionero 1, ¿nos conviene confesar o no?.

Analicémoslo en función a las posibles estrategias que puede tomar el otro prisionero:

1. Si el prisionero 2 no confiesa, a mi me conviene confesar, ya que de esa manera saldré en libertad.
2. Si el prisionero 2 confiesa, a mi me conviene confesar, de lo contrario pasaré 3 años en prisión en lugar de 2.

En cualquiera de los casos, mi mejor estrategia es confesar. Suponiendo que el otro prisionero actúa de forma racional y en beneficio propio, al analizar sus alternativas va a llegar a la misma conclusión y determinará que su mejor opción es confesar.

Podemos ver que en este juego hay una estrategia dominante: la de confesar. Sin embargo, resulta interesante resaltar que si observamos el problema desde afuera, sin tomar posición como jugadores, podemos ver que la mejor solución para ambos jugadores sería la de no confesar.

La solución de este juego se enmarca dentro del concepto de solución llamado “*equilibrio de Nash*”, en el que cada jugador ejecuta su mejor estrategia teniendo en cuenta las estrategias de los demás jugadores. O en otras palabras, se obtiene un equilibrio de Nash cuando, al conocerse las estrategias elegidas por los jugadores, ninguno tiene incentivo para cambiar su estrategia.

El objetivo de los investigadores en teoría de juegos es el de encontrar estas estrategias óptimas de los participantes que generen un equilibrio en el juego, dadas las reglas, las funciones de utilidad y los objetivos de los jugadores.

2.1.2. Negociación basada en heurística

La teoría de juegos tiene algunos limitantes para utilizarla en entornos realistas. Por ejemplo, se asume que los participantes conocen completamente el espacio de resultados, que poseen recursos computacionales ilimitados y que actúan de forma racional y en beneficio propio. A nivel computacional, cuando los agentes deben realizar muchas acciones, el poder de cómputo para encontrar soluciones óptimas debe ser demasiado grande.

Al no poder aplicar en entornos realistas los supuestos de la teoría de juegos, se busca relajar ciertos supuestos y desarrollar modelos aproximados o heurísticos, que si bien no generan resultados *óptimos*, persiguen modelos *suficientemente buenos*. Por ejemplo, en el caso de dos agentes negociando, en lugar de buscar todos los posibles acuerdos, se emplean funciones heurísticas que dependen de los recursos disponibles, el tiempo, etc. para generar ofertas. En muchas situaciones un agente no posee información completa sobre su contra-parte, por lo tanto ciertos abordajes heurísticos buscan estudiar el comportamiento del otro agente para predecir sus preferencias o generar ofertas similares a las recibidas anteriormente, entendiendo que serán de mayor aceptación por la contra-parte. Otra cuestión que se tiene en cuenta es que no siempre la contra-parte actúa de forma racional o utiliza estrategias que buscan lograr un equilibrio (puede estar mal programada, ser maliciosa, etc.)

Además de que genera resultados sub-óptimos, otra desventaja de este enfoque es que los modelos requieren de mucha evaluación puesto que es muy difícil predecir con exactitud el comportamiento de los agentes y del sistema que conforman. Requieren numerosas simulaciones, debido a que el éxito de las heurísticas se determina mediante un análisis empírico.

2.1.3. Negociación basada en argumentación

Como se mencionó anteriormente, la negociación automática aplicada en entornos reales debe lidiar con ciertas limitantes. En la mayoría de los casos los participantes de una negociación no tienen conocimiento completo y certero sobre sus contra-partes, ya sean estos participantes personas humanas o agentes computacionales, lo que limita la aplicación de modelos basados en teoría de juegos.

Básicamente, la negociación basada en argumentación (ABN) consiste en que los agentes acompañen junto a la propuesta (o contra-propuesta) que realizan, un soporte que la sustente. En concreto, un argumento es una pieza de información que le permite al agente: (a) *justificar* su postura en la negociación o (b) *influir* sobre la postura del otro agente [16]. Este argumento le permite

a los agentes ir actualizando su conocimiento y sus creencias acerca de los otros participantes en la negociación, logrando así generar mejores propuestas. Los agentes que participan en la negociación deben tener la capacidad de interpretar y evaluar estos argumentos.

Los autores de [16], a partir de estudiar distintos trabajos de negociación automática basada en argumentación, definen el siguiente modelo conceptual de un agente ABN:

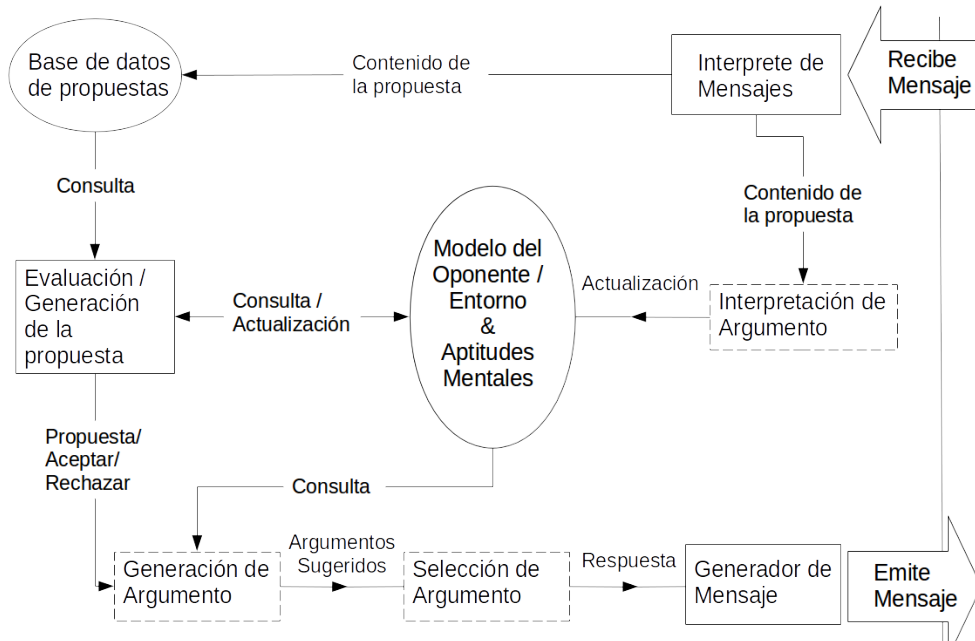


Fig. 2.1: Modelo conceptual de un agente ABN presentado en [16].

Es necesario que el agente ABN cuente, al igual que cualquier agente de negociación automática, con un *interprete* que pueda parsear el mensaje recibido y determine si se está recibiendo una propuesta o si se está aceptando o rechazando cierta propuesta, una *base de datos* que almacene las propuestas para futuras referencias, el *estado mental* en donde se almacene información propia, información del entorno y de los otros participantes de la negociación, un *mecanismo de decisión*, que genere y evalúe propuestas y un *generador* que construya el mensaje de salida y lo envíe. Adicionalmente, en el marco de la negociación automática basada en argumentación, es necesario que el agente ABN cuente con componentes que le permita:

1. Evaluar argumentos y actualizar su estado mental.
2. Generar argumentos.
3. Seleccionar argumentos.

Evaluación de argumentos

Los agentes tienen que estar capacitados para evaluar argumentos, incluso sabiendo que estos argumentos pueden estar destinados para influir sobre su propio estado mental. Al igual que lo hacemos los seres humanos, estos argumentos se pueden evaluar objetiva o subjetivamente.

Un argumento puede ser una demostración que llegue a conclusión. Si hay una convención objetiva entre los agentes de lo que es una demostración y qué reglas la rigen, un agente podría hacer una evaluación objetiva del argumento. Sin embargo, el agente podría hacer una evaluación subjetiva si prioriza utilizar sus preferencias y motivaciones al analizar un argumento.

Imaginemos que dos agentes están debatiendo acerca del clima, podrían adoptar un criterio objetivo basado en la evidencia para determinar si afuera está lloviendo o no, y que este criterio no se vea influenciado por las preferencias de uno de los agentes, que prefiere que haya un día soleado. Por otro lado, si se está negociando una división de recursos, el valor de cada uno de ellos puede ser distinto para cada agente, por lo que la evaluación del argumento tendrá un componente subjetivo.

Generación y selección de argumentos

Otro componente esencial, en los agentes ABN, es el encargado de generar argumentos que puedan ser utilizados para seducir a la contra-parte a aceptar determinada propuesta. Una vez generados los argumentos candidatos, se selecciona el *mejor* candidato.

Se debe tener en cuenta que la contra-parte evaluará este argumento tanto con criterios objetivos como subjetivos. Por lo tanto, al generar y seleccionar el argumento debe tenerse en cuenta lo que se está solicitando, pero también se debe tener en cuenta lo que el agente ofrece a cambio y como se sustenta esa oferta con las creencias sobre su contra-parte.

En los trabajos [17, 18] se plantea un problema que resulta de utilidad para ejemplificar los escenarios en donde se aplican los modelos de negociación automática basada en argumentación.

Ejemplo 2.1. Home Improvement Agents Problem (HIA)

Dos agentes Ag_1 y Ag_2 deben mejorar el aspecto de una habitación. El agente Ag_1 tiene como objetivo colgar un cuadro, mientras que Ag_2 tiene como objetivo colgar un espejo.

El agente Ag_1 tiene un tornillo y un martillo, además sabe cómo utilizar un martillo y un clavo para colgar cuadros y cómo utilizar un tornillo y un destornillador para colgar espejos. Adicionalmente Ag_1 cree que Ag_2 tiene un clavo y un destornillador y cree que el objetivo de Ag_2 es tener un tornillo.

Por otro lado, el agente Ag_2 tiene un clavo y un destornillador y además sabe cómo colgar un espejo utilizando un martillo y un clavo.

En el ejemplo, el agente Ag_1 creyendo que el agente Ag_2 tiene un clavo, se lo solicitará. Y a cambio le ofrecerá un tornillo, ya que cree que tener un tornillo es el objetivo de Ag_2 .

A esta oferta, clavo por tornillo, la puede argumentar con el soporte: "*mi objetivo es colgar un cuadro, sé como hacerlo con un clavo y un martillo, ya tengo el martillo*". Este soporte le permite al agente Ag_2 inferir que el objetivo de Ag_1 es colgar un cuadro y que tiene un martillo.

Como contrapartida, Ag_2 puede realizar una crítica argumentando que su objetivo no es tener un tornillo. Ante esta crítica, Ag_1 actualizará sus creencias sobre Ag_2 .

2.2. Revisión de creencias

Al igual que los seres humanos, los agentes pueden tener creencias incorrectas acerca del *mundo*¹ o de la/s contra-parte/s. Por ejemplo, un agente puede creer que con un martillo y un tornillo puede colgarse un espejo aunque no sea así, o puede creer que su contra-parte tiene un clavo aunque esto sea incorrecto.

Las creencias del agente son fundamentales, tanto en la generación de propuestas como en la generación de argumentos. Por lo que es fundamental revisar las bases de conocimiento ante nueva información.

Cuando los agentes que están negociando tienen creencias en conflicto, utilizan operadores de revisión de creencias (generalmente el modelo AGM [19]) para llegar a una interpretación consistente, de al menos una parte del entorno, que les permita encontrar un acuerdo aceptable.

A resumidas cuentas, la *revisión de creencias* es el proceso de adaptar el estado mental de un agente para que sea consistente con una nueva pieza de información [20].

Siendo \mathbf{K} el conjunto que representa las creencias del agente, el modelo AGM introduce tres operaciones de revisión de creencias:

- *Expansión* (+): Expandir \mathbf{K} por una sentencia α da como resultado un conjunto del cual se infiere α . Es decir, incorpora una nueva creencia sin garantizar consistencia en el estado resultante.
- *Contracción* (\div): Contraer \mathbf{K} por una sentencia α da como resultado un conjunto del cual no se infiere α . Por lo tanto, elimina una creencia del estado y también todas las creencias que permitan su inferencia.
- *Revisión*: Revisar \mathbf{K} por una sentencia α da como resultado un conjunto del cual se infiere α y no se infiere $\neg\alpha$. Incorpora una creencia al estado garantizando consistencia.

Utilizamos $\mathbf{K} \vdash \alpha$ para representar que α se infiere a partir del conjunto \mathbf{K} . Se puede recurrir al apéndice A para ver la formalización de la revisión de creencias y los postulados sobre las operaciones definidas.

¹ Entendiendo por "*mundo*" al entorno en el cual interactúa el agente.

Modelos bilaterales de negociación basada en argumentación

3.1. Entornos Bilaterales

La negociación automática basada en argumentación (ABN) es utilizada para enfrentarse a entornos de cierta complejidad y difíciles de estandarizar. Como se menciona en el capítulo anterior, estos entornos suelen contar con información incompleta o incierta. Los agentes tienen distintas preferencias y no siempre éstas son públicas, además de que pueden cambiar en el transcurso de la negociación en base a nuevas piezas de información. Pueden hacer un análisis objetivo o subjetivo de los argumentos y a su vez, estos argumentos pueden provenir de agentes que no son confiables.

A raíz de estas complejidades, los trabajos de negociación ABN buscan limitar el entorno sobre el cual trabajan. Por ejemplo, limitando a que los agentes sean honestos y veraces o que sólo haya dos agentes. En el resto de este capítulo se presentarán dos protocolos de negociación automática basada en argumentación en entornos bilaterales, que servirán como base para definir un protocolo de negociación en un entorno multilateral.

3.2. Agentes ABN con Revisión de Creencias

En [17] se presenta un protocolo ABN en el cual dos agentes, honestos (no transmiten información falsa) y benévolos, (siempre que puedan cumplir con el objetivo planteado, lo hacen) con deseos de cooperar, negocian un intercambio de recursos que les permita lograr sus objetivos.

El problema motivacional es el Home Improvement Agents Problem (HIA), introducido en el capítulo anterior, en el cual dos agentes tienen que mejorar una pared. El Agente 1 (Ag_1) tiene como objetivo colgar un cuadro y el Agente dos (Ag_2) tiene como objetivo colgar un espejo.

Ag_1 posee un tornillo y un martillo, además sabe cómo colgar un cuadro usando un clavo y un martillo, y sabe que usando un tornillo y un destornillador puede colgar un espejo. A su vez, Ag_1 tiene ciertas creencias sobre Ag_2 : que posee un destornillador y un clavo, y que su objetivo es tener un tornillo. Por el otro lado, Ag_2 tiene un clavo, un destornillador y sabe cómo colgar un espejo usando un clavo y un martillo.

Analizando el problema, podemos concluir:

- Ninguno de los agentes puede cumplir su objetivo con el conocimiento y los recursos que posee.
- Ag_1 tiene creencias correctas sobre los recursos que posee Ag_2 , pero incompletas acerca del conocimiento que posee Ag_2 .
- Ag_1 tiene creencias incorrectas sobre el objetivo de Ag_2 .
- El único conocimiento que tiene Ag_2 que le permita lograr su objetivo, involucra la tenencia de un martillo y un clavo. Por lo tanto, intentará conseguir un martillo y no querrá desprenderse del clavo.
- A su vez, el único conocimiento que tiene Ag_1 para lograr su objetivo, también involucra un martillo y un clavo, por lo que buscará conseguir un clavo y evitará desprenderse del martillo.

Pararnos como espectadores del problema, nos permite conocer la información completa, tanto de los recursos como del conocimiento y podemos resolver qué: si Ag_2 le entrega su clavo a Ag_1 y a cambio, Ag_1 le entrega un tornillo y el conocimiento para colgar un espejo con un destornillador y un tornillo, ambos agentes podrían lograr su objetivo. Pero, ¿cómo pueden llegar a esta conclusión los agentes, que poseen información incompleta e incorrecta del problema?

3.2.1. Modelizando el problema

Para modelizar el problema, los autores utilizan un lenguaje proposicional \mathcal{L} , en el cual se pueden distinguir los siguientes subconjuntos:

- $O_{\mathcal{L}}$: Un conjunto de átomos que representan *objetos*. Siendo éstos parte de los recursos que los agentes pueden tener. Como por ejemplo: *tornillo*, *martillo*, *destornillador*.
- $G_{\mathcal{L}}$: Un conjunto de átomos que representan objetivos, como: *colgar_cuadro*, *colgar_espejo*.
- $P_{\mathcal{L}}$: Un conjunto de formulas de lógica proposicional que representan *planes*. Estos involucran objetos necesarios para alcanzar un objetivo. Por ejemplo: $\text{martillo} \wedge \text{clavo} \rightarrow \text{colgar_cuadro}$
- $R_{\mathcal{L}}$: El conjunto de los recursos que un agente puede tener, incluyendo *objetos* y *planes*. Es decir, $R_{\mathcal{L}} = O_{\mathcal{L}} \cup P_{\mathcal{L}}$

Los *planes* representan el conocimiento del agente, cómo utilizar ciertos *objetos* para alcanzar determinado *objetivo*. Se considera a los planes un tipo especial de recurso, de los cuales el agente que posee ese conocimiento tiene infinitas copias, y puede compartirlo con otros agentes sin consumirlo.

Dentro del conjunto $X \subset R_{\mathcal{L}}$ diferenciamos a los objetos y a los planes como $X^{\downarrow o}$ y $X^{\downarrow p}$ respectivamente.

- $X^{\downarrow o} =_{def} X \cap O_{\mathcal{L}}$
- $X^{\downarrow p} =_{def} X \cap P_{\mathcal{L}}$

En el trabajo, definen a los agentes negociadores con dos componentes: su estado mental y su mecanismo de decisión. El estado mental de una agente ABN representa su conocimiento del mundo: recursos disponibles, planes, creencias sobre el otro agente, etc. Mientras que el mecanismo de decisión determina, según el estado mental, que acción debe realizar el agente en la búsqueda de su objetivo.

Definición 3.1. Agente

Un Agente ABN es una tupla $\langle MS_i, DM_i \rangle$ donde MS_i representa su estado mental y DM_i su mecanismo de decisión.

Definición 3.2. Estado Mental

Sean Ag_i y Ag_j dos agentes ABN involucrados en una negociación, el estado mental (MS_i) del agente Ag_i es una tupla $MS_i = \langle R_i, G_i, B_iR_j, B_iG_j, H_i \rangle$, donde:

- $R_i \subset R_{\mathcal{L}}$ es el conjunto de recursos disponibles de Ag_i .
- $G_i \subset G_{\mathcal{L}}$ es el conjunto de objetivos que desea alcanzar Ag_i .
- $B_iR_j \subset R_{\mathcal{L}}$ es el conjunto de recursos disponibles que Ag_i cree que tiene Ag_j .
- $B_iG_j \subset G_{\mathcal{L}}$ son los objetivos que Ag_i cree que quiere alcanzar Ag_j .
- H_i es el historial de negociación.

En el problema de referencia, el estado mental de Ag_1 , es el siguiente:

$$MS_1 = \langle R_1, G_1, B_1R_2, B_1G_2, H_1 \rangle, \text{ donde :}$$

$$R_1 = \{ \text{tornillo}, \text{martillo}, \text{martillo} \wedge \text{clavo} \rightarrow \text{colgar_cuadro}, \text{destornillador} \wedge \text{tornillo} \rightarrow \text{colgar_espejo} \}$$

$$G_1 = \{ \text{colgar_cuadro} \}$$

$$B_1R_2 = \{ \text{clavo}, \text{destornillador} \}$$

$$B_1G_2 = \{ \text{tornillo} \}$$

$$H_1 = []$$

Mientras que el estado mental de Ag_2 es:

$$MS_2 = \langle R_2, G_2, B_2R_1, B_2G_1, H_2 \rangle, \text{ donde :}$$

$$R_2 = \{ \text{destornillador}, \text{clavo}, \text{martillo} \wedge \text{clavo} \rightarrow \text{colgar_cuadro} \}$$

$$G_2 = \{ \text{colgar_espejo} \}$$

$$B_2R_1 = \{ \text{clavo} \}$$

$$B_2G_1 = \{ \}$$

$$H_2 = []$$

Estos agentes deberán acordar un intercambio de recursos, de lo contrario ninguno podrá cumplir con su objetivo. Uno de los agentes tomara la iniciativa y hará una *propuesta* de intercambio de recursos, el otro podrá aceptarla, retirarse de la negociación o realizar una contra-propuesta. Quien determina estas acciones es el *mecanismo de decisión* del agente. Este mecanismo estas compuesto de dos funciones: *Init*, que se encarga de generar el primer mensaje de la negociación, y *answer*, que calcula la contra-propuesta utilizando el estado mental y la última propuesta recibida.

Definición 3.3. *Mecanismo de decisión*

El mecanismo de decisión de un agente Ag_i , es una tupla $DM_i = \langle Init_i, Answer_i \rangle$, donde:

$Init_i : MS_i \rightarrow Proposal$

$Answer_i : MS_i \times Proposal \rightarrow MS_i \times Proposal$

Proposal es el conjunto de todas las propuestas posibles.

En esta modelización del problema, una propuesta es una declaración en donde el agente manifiesta qué recursos solicita, cuales esta dispuesto a dar a cambio y un argumento que justifica por qué pide lo que pide.

Definición 3.4. *Propuesta*

Sean X, Y, O subconjuntos de $R_{\mathcal{L}}$, y G subconjunto de $G_{\mathcal{L}}$. Una propuesta hecha por Ag_i es una tupla $\langle A, \llbracket X, Y \rrbracket_i \rangle$ donde $\llbracket X, Y \rrbracket_i$ es el intercambio que propone el agente y $A = (O, G)$ es la justificación. Y se cumplen las siguientes condiciones:

- $Y \cup O \vdash G$
- $O \not\vdash G$
- $X \cap (Y \cup O) = \emptyset$

De la definición de *propuesta* se desprende que:

1. El agente Ag_i solicita Y , puesto que junto al conjunto O (recursos que posee) puede alcanzar su objetivo G .
2. Solo con los recursos que posee (O), no puede lograr su objetivo.
3. No necesita ninguno de los recursos que ofrece (conjunto X), para lograr su objetivo.

Adicionalmente, sea $prop = \langle A, \llbracket X, Y \rrbracket_i \rangle$, se definen las funciones \odot y \otimes , tal que:

$\odot(prop) =_{def} \llbracket X, Y \rrbracket_i$

$\otimes(prop) =_{def} A$

3.2.2. Protocolo

En este modelo, el dialogo entre los agentes se define como una secuencia finita de mensajes que representan las propuestas. Alternativamente, los agentes van realizando propuestas hasta que un agente acepta la propuesta realizada por la contra-parte o decide retirarse de la negociación sin lograr un acuerdo. No se permite que un agente envíe una propuesta realizada con anterioridad.

Definición 3.5. *Dialogo de negociación*

Un diálogo entre dos agentes Ag_i y Ag_j es una secuencia finita de mensajes $[m_1, m_2, \dots, m_{n-1}, m_n]$ donde $m_n \in \{aceptar, retirarse\}$ y para todo $r < n$, m_r es una propuesta tal que:

1. $m_r \neq m_s$ para todo $r, s < n, r \neq s$. Es decir, no hay mensajes repetidos.

2. Los mensajes se envían de forma alternada. m_{r+1} es enviado por Ag_j si y solo si m_r fue enviado por Ag_i
3. Un dialogo es iniciado por Ag_i si y solo si Ag_i envió el mensaje m_1

Podemos esquematizar el diálogo entre los agentes con el siguiente diagrama (Fig. 3.1):

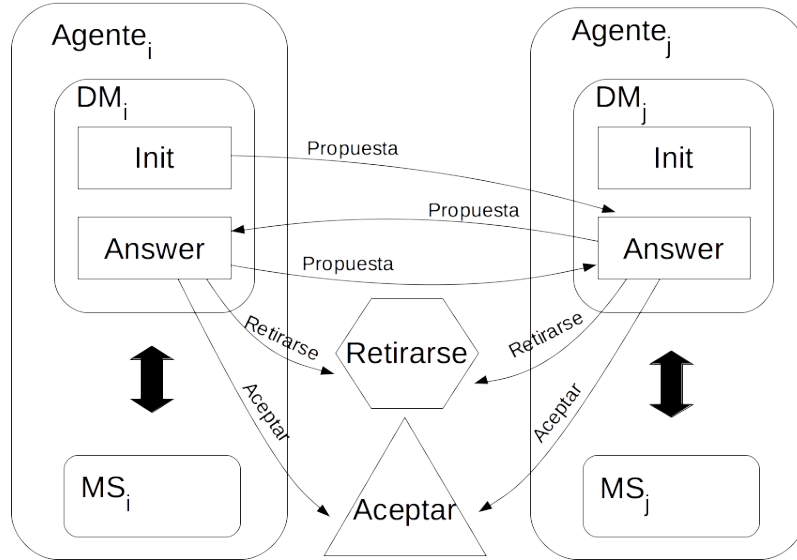


Fig. 3.1: Flujo de diálogo iniciado por Ag_i [17].

3.2.3. Generación de propuestas

Volviendo al ejemplo, los agentes deben proponer algún intercambio de recursos ya que no pueden alcanzar sus objetivos. La propuesta del agente Ag_i presenta un posible intercambio de recursos y un soporte que lo justifica: (O, G) . La propuesta de intercambio $\llbracket X, Y \rrbracket_i$ debe representar una solución para Ag_i .

Definición 3.6. Solución

Sea Ag_i un agente involucrado en una negociación y $MS_i = \langle R_i, G_i, B_i R_j, B_i G_j, H_i \rangle$ su estado mental. Una solución para Ag_i es cualquier par $\llbracket X, Y \rrbracket_i$, $X, Y \subseteq R_{\mathcal{L}}$ donde:

- $X \subseteq R_i$
- $(R_i - X^{\downarrow o}) \cup Y \vdash G_i$

Representamos con S_i el conjunto de todas las posibles soluciones para Ag_i .

Claro está que un intercambio de recursos que resulte en una solución para Ag_i puede no resultar en una solución para Ag_j . Cuando esto si sucede, los agentes pueden llegar a un acuerdo.

Definición 3.7. Acuerdo

Un intercambio de recursos $\llbracket X, Y \rrbracket_i$, donde $X, Y \subseteq R_{\mathcal{L}}$ es un acuerdo para Ag_i y Ag_j si y solo si $\llbracket X, Y \rrbracket_i \in S_i$ y $\llbracket Y, X \rrbracket_j \in S_j$. Representamos con D en conjunto de todos los posibles acuerdos entre Ag_i y Ag_j .

Por lo tanto, una propuesta $\langle (O, G), \llbracket X, Y \rrbracket_i \rangle$ realizada por Ag_i será aceptada por Ag_j si $\llbracket Y, X \rrbracket_j \in S_j$.

En la generación de la propuesta, las creencias que tiene un agente sobre su contra-parte, juegan un rol fundamental. Con esa información, el agente puede proponer un intercambio que además de presentar una solución para su objetivo, también sea útil para el otro agente.

Definición 3.8. Sean dos agentes Ag_i y Ag_j , $X, Y \subseteq R_{\mathcal{L}}$, Ag_i creará que $\llbracket X, Y \rrbracket_i$ es una solución para Ag_j si:

- $Y \subseteq B_i R_j$
- $(B_i R_j - X^{\downarrow o}) \cup Y \vdash B_i G_j$

Se define $B_i S_j = \{ \llbracket X, Y \rrbracket_i \mid Ag_i \text{ cree que } \llbracket X, Y \rrbracket_i \text{ es una solución para } Ag_j \}$.

Por lo tanto:

Definición 3.9. Sean dos agentes Ag_i y Ag_j en una negociación, Ag_i cree que $\llbracket X, Y \rrbracket_i$ es un acuerdo, si y solo si:

1. $X \subseteq R_i$
2. $(R_i - X^{\downarrow o}) \cup Y \vdash G_i$
3. $Y \subseteq B_i R_j$
4. $(B_i R_j - Y^{\downarrow o}) \cup X \vdash B_i G_j$

Se define $B_i S = \{ \llbracket X, Y \rrbracket_i \mid Ag_i \text{ cree que } \llbracket X, Y \rrbracket_i \text{ es un acuerdo} \}$.

Finalmente los autores especifica la función Gen que se encarga de generar un conjunto de propuestas de la siguiente manera:

Definición 3.10. Sean $R, R' \subset R_{\mathcal{L}}$ y $G \subset G_{\mathcal{L}}$, se define la función Gen como:

$$\begin{aligned} Gen(R, R', G, i) =_{def} \{ \langle (O, G), \llbracket X, Y \rrbracket_i \rangle : \\ Y \cap R = \emptyset, O \subseteq R, \\ (O \cup Y) \in (R \cup R' \cup Y) \Downarrow G, \\ X \subseteq R - O \} \end{aligned}$$

La función Gen recibe dos conjuntos de recursos y un conjunto de objetivos. Devuelve un conjunto de propuestas $\langle (O, G), \llbracket X, Y \rrbracket_i \rangle$ donde Y y R son conjuntos disyuntos (se van a solicitar recursos que no se tienen), el conjunto de recursos O es subconjunto de R (se poseen los recursos de O). $O \cup Y$ es un conjunto minimal¹ del cual se puede deducir G y X es el conjunto de recursos que se poseen que no son necesarios para alcanzar los objetivos G .

Se presenta la siguiente proposición:

Proposición 3.1. Dado un agente Ag_i , siendo su estado mental $MS_i = \langle R_i, G_i, B_i R_j, B_i G_j, H_i \rangle$, entonces:

¹ En el anexo A se presenta la definición de Choice kernel Set y se introduce el operador \Downarrow

1. Si $prop \in \text{Gen}(R_i, B_i R_j, G_i, i)$ entonces, $prop$ es una propuesta y $\odot(prop) \in S_i$
2. Si $prop \in \text{Gen}(B_i R_j, R_i, B_i G_j, j)$ entonces, $prop$ es una propuesta y $\odot(prop) \in B_i S_j$

Esta proposición sostiene que se puede utilizar la función Gen para generar posibles soluciones al problema de negociación, ya que el agente Ag_i puede generar propuestas que sean solución para sí mismo, y también generar propuestas que desde su punto de vista son soluciones para Ag_j .

Generadas las propuestas que para el agente Ag_i son posibles acuerdos, se selecciona la más apropiada. En este enfoque, los autores basan el mecanismo de selección en dos funciones: $I : H \times propuesta \rightarrow \mathfrak{R}$ y $U : propuesta \rightarrow \mathfrak{R}$. La primera de ellas, mide cuanta información se suma al historial de negociación con la nueva propuesta, y la segunda es una función de utilidad que calcula en cuanto beneficia al agente que se acepte la propuesta. En base a una combinación ponderada de estas funciones se pueden modelizar distintos comportamientos del agente (por ejemplo, un agente más egoísta pondrá más peso sobre la función U).

3.2.4. Interpretación de las propuestas

Los agentes, al recibir una propuesta, utilizan la nueva pieza de información para actualizar su estado mental. Pues, como venimos mencionando en este trabajo, la información que tienen los agentes puede ser incompleta e incorrecta.

El agente Ag_j al recibir la propuesta $\langle (O, G), \llbracket X, Y \rrbracket_i \rangle$ proveniente de Ag_i puede inferir:

- El agente Ag_i solicita Y por lo tanto puedo suponer que no posee esos recursos.
- Si Ag_i usa los recursos O , entonces tiene esos recursos.
- El objetivo de Ag_i es G
- Si Ag_i ofrece X , entonces tiene esos recursos

Como consecuencia, el agente Ag_j actualiza la información que posee sobre Ag_i . Tener un conocimiento más certero sobre su contra-parte permite aumentar las probabilidades de generar *propuestas* que logren ser *acuerdos*.

Para actualizar las creencias, se utilizan los operadores de revisión de creencias, de *contracción* y *revisión*, definidos en el apéndice A.4 y A.5.

Así, si el agente Ag_j recibe una propuesta $\langle (O, G), \llbracket X, Y \rrbracket_i \rangle$ proveniente de Ag_i , actualizará su estado mental con el siguiente procedimiento:

1. $B_j R_i \leftarrow \text{contraer}(B_j R_i, Y)$
2. $B_j R_i \leftarrow \text{revisar}(B_j R_i, O)$
3. $B_j R_i \leftarrow \text{revisar}(B_j R_i, X)$
4. $B_j G_i \leftarrow \text{revisar}(B_j G_i, G)$

3.2.5. Resultados

Concluyendo, los autores presentan en [17] un protocolo ABN para contextos bilaterales en el cual los agentes tienen la capacidad de realizar propuestas que incluyen un intercambio de recursos y un argumento que justifique la solicitud. Adicionalmente, estos agentes utilizan la información contenida en las propuestas para actualizar las creencias que tiene sobre su contra-parte en su estado mental. Para ello utiliza operadores de revisión de creencias.

En las simulaciones presentadas se muestra cómo la utilización de revisión de creencias eleva de 15 % a 96 % el porcentaje de acuerdos logrados y reduce a la mitad la cantidad de interacciones, logrando negociaciones más cortas.

3.3. Extendiendo el modelo

En el trabajo anterior, cuando los agentes hacen una propuesta, incluyen un soporte que argumenta sobre los recursos que solicita, es decir: *"Solicito un clavo, porque tengo un martillo, y sé como colgar un cuadro con un clavo y un martillo. Siendo colgar un cuadro mi objetivo"*. Sin embargo, los agentes no brindan argumentos sobre lo que ofrecen, como podría ser: *"A cambio te ofrezco un tornillo, porque creo que tener un tornillo es tu objetivo"*.

Tampoco están modelizadas las críticas que podría hacer un agente a determinada propuesta, cómo por ejemplo: *"No acepto tu propuesta, pues mi objetivo no es tener un tornillo"* o *"No acepto tu propuesta porque no tengo un clavo para darte"*.

Los autores en [21] extienden el modelo anterior en diferentes direcciones, entre las cuales se incorporan al modelos las capacidades mencionadas.

3.3.1. Diálogo

Como mencionamos anteriormente, uno de los puntos a extender del modelo anterior es la posibilidad de que un agente, al recibir una propuesta, pueda rechazarla efectuando una crítica. Por ende, una vez iniciado el diálogo, los mensajes entre los agentes tendrán una propuesta y una crítica a la propuesta anterior. Diálogo esquematizado en la fig. 3.2.

Definición 3.11. *El diálogo entre los agentes negociadores Ag_i y Ag_j es una secuencia finita de mensajes $[m_1, \dots, m_{n-1}, m_n]$ donde:*

- m_1 contiene una propuesta.
- para $1 < i < n$, m_i es un par (C_i, P_i) donde C_i es una crítica a la propuesta P_{i-1} , y P_i es una propuesta.
- $m_n \in \{\text{aceptar, retirarse}\}$

tal que: no existen mensajes repetidos en la secuencia; el mensaje m_k con $k > 1$ es realizado por Ag_i solo si el mensaje m_{k-1} fue realizado por Ag_j ; el diálogo es iniciado por Ag_i solo si m_1 es realizado por Ag_i

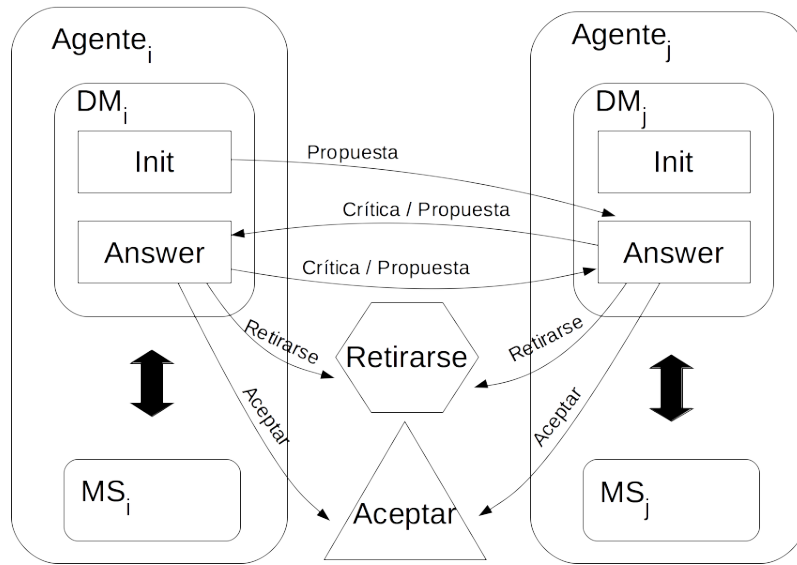


Fig. 3.2: Flujo de dialogo iniciado por Ag_i [21].

Adicionalmente en este modelo, a diferencia del modelo anterior, como los agentes argumentan tanto sobre los recursos que solicitan como sobre los recursos que ofrecen. Las propuestas se definen:

Definición 3.12. Propuesta

Sean B_d, B_{ds}, B_o, B_{os} subconjuntos de B y G_d, G_o elementos de G^{at} . Una propuesta es una tupla (d, o) , donde su primer componente d corresponde a la demanda del agente $d = \langle B_d, B_{ds}, G_d \rangle$ y el segundo componente o , es la oferta $o = \langle B_o, B_{os}, G_o \rangle$ y las siguientes condiciones se cumplen:

1. $B_d \cup B_{ds} \vdash G_d$
2. $B_{ds} \not\vdash G_d$
3. $B_o \cup B_{os} \vdash G_o$
4. $B_{os} \not\vdash G_o$

De manera una propuesta puede verse como una propuesta de intercambio de B_d (demanda) por B_o (oferta), y un soporte por cada uno: Solicito B_d ya que junto a lo que tengo B_{ds} puedo lograr G_d , a cambio te ofrezco B_o porque junto a lo que creo que tienes B_{os} puedes lograr G_o que creo es tu objetivo.

3.3.2. Críticas

Un agente recibe una propuesta, la evalúa y puede aceptar el intercambio propuesto, o puede retirarse de la negociación sin lograr un acuerdo o puede hacer una contra-propuesta acompañando una crítica a la propuesta recibida.

Definición 3.13. Crítica

Sea $P = (d, o)$ una propuesta, compuesta por una demanda $d = \langle B_d, B_{ds}, G_d \rangle$ y su oferta $o = \langle B_o, B_{os}, G_o \rangle$, se define una crítica C como $\langle C_1, C_2, C_3 \rangle$ donde $C_1 \subset R, C_2 \subset B, C_3 \in \{\emptyset, no\}$ y se cumple alguna de las siguientes condiciones:

- $(B_d - C_1) \cup B_{ds} \not\subseteq G_d$
- $B_d \cup B_{ds} \cup C_2 \not\subseteq G_d$
- $C_3 = no$

Informalmente, la primera condición nos dice que el agente no posee los recursos que le fueron solicitados. La segunda condición expresa que el agente tiene creencias por las cuales cree que el objetivo de su contra-parte no puede lograrse. En la tercera condición el agente rechaza la propuesta sin dar alguna explicación.

3.3.3. Interpretación y generación de propuestas

Al igual que en el modelo anterior, al recibir una propuesta $P = (d, o)$, compuesta por la demanda $d = \langle B_d, B_{ds}, G_d \rangle$ y la oferta $o = \langle B_o, B_{os}, G_o \rangle$, el agente extrae la información contenida y utiliza operadores de revisión de creencias para actualizar su estado mental. También utiliza los operadores de revisión de creencias al extraer información contenida en una crítica $C = \langle C_1, C_2, C_3 \rangle$.

En este segundo modelo presentado por los autores, en la generación de la propuesta el agente utiliza las creencias que tiene sobre su contra parte para proponer intercambios que también le resulten útil al otro agente.

3.4. Conclusiones

En este capítulo se presentaron dos modelos de negociación automática basada en argumentación en entornos bilaterales, en los cuales los agentes necesitan negociar para conseguir recursos que les permitan cumplir sus objetivos. Estos agentes son honestos y tienen deseo de cooperar, pero tienen información incompleta o errónea sobre su contra-parte.

Los agentes son capaces de elaborar propuestas de intercambio de argumentos. Para maximizar las posibilidades de que se acepte determinada propuesta los agentes involucran, en la generación de la misma, información sobre la contra-parte que tienen almacenada en su estado mental.

Junto a la propuesta de intercambio los agentes aportan argumentos que dan soporte a la solicitud. A medida que avanza la negociación, los agentes van extrayendo de las propuestas nueva información que utilizan para actualizar su estado mental, logrando así generar mejores propuestas (con más probabilidades de ser aceptadas por su contra-parte). La actualización del estado mental la realizan utilizando operadores de revisión de creencias.

El segundo modelo incorpora en la propuesta un argumento sobre lo que se oferta, y añade la posibilidad que los agentes puedan hacer una crítica sobre la propuesta no aceptada. Esto suma información en el diálogo, la que es utilizada por los agentes para actualizar su estado mental.

Las simulaciones realizadas sobre estos modelos le demostraron a los autores que el actualizar la información durante la negociación mejora notablemente los resultados, tanto en cantidad de acuerdos como en cantidad de interacciones.

Modelo multilateral de negociación basada en argumentación

4.1. Modelos multilaterales de negociación automática

Diversos trabajos [8–14] estudiaron la negociación automática en entornos multilaterales. Estos escenarios pueden ser bastantes diversos, en [10, 11] se estudiaron las subastas. En las subastas hay un solo oferente y varios agentes que compiten por el objeto de negociación, el proceso puede llevarse a cabo de distintas maneras, presentando reglas y características distintas. En [8, 9] se extiende a multilateral un estudiado protocolo de negociación bilateral [4] conocido como *Rubinstein's alternating offers protocol*, en el cual dos jugadores deben dividirse una “torta”.

Otro protocolo de negociación multilateral se presenta en [12, 13]. El conocido como *Contract Net Protocol* es útil en las situaciones que un agente (*manager*) debe realizar una tarea compleja que puede dividirse en sub-tareas. Este agente hace un llamado general buscando agentes que puedan ejecutar la sub-tarea y se dispone a escuchar distintas ofertas de diversos agentes. Finalmente el *manager* selecciona una oferta y se establece un “contrato” entre él y el agente seleccionado, que ocupa el rol de *contractor*. En [14] distintos agentes que poseen recursos buscan intercambiarlos con el objetivo de aumentar sus utilidades. Por ejemplo, si el jugador 1 tiene *manzanas* y el jugador 2 tiene *peras*, pero el jugador 1 prefiere las *peras* y el jugador 2 prefiere las *manzanas*, un intercambio de *peras* por *manzanas* generaría un beneficio para ambos jugadores.

La particularidad de estos trabajos, y de la mayoría de los trabajos de negociación automática multilateral, es que estudian el problema desde un enfoque orientado a la teoría de juegos. Como ya se mencionó anteriormente, los escenarios en los que se pueden aplicar estos enfoques deben presentar ciertas características como, por ejemplo, que los agente cuentan con información completa sobre el escenario y los otros agentes. Entornos más realistas y complejos suelen presentar características óptimas para la aplicación de modelos basados en teoría de juegos. Los modelos de negociación automática basada en argumentación (ABN) son más útiles en estos tipos de escenarios. Sin embargo, dada la complejidad, la mayoría de los trabajos de negociación ABN se limitan a entornos bilaterales. Este trabajo hace un aporte a este tipo de negociación en entornos multilaterales.

4.2. De Bilateral a Multilateral

En el capítulo anterior se presentaron dos modelos de negociación automática basada en argumentación en el que los agentes deben negociar para alcanzar sus objetivos, intercambiando propuestas y aportando argumentos que las justifiquen. Adicionalmente pueden hacer críticas a las propuestas recibidas. Sin embargo estos modelos están limitados a entornos bilaterales.

Si se encontraran en un entorno de múltiples agentes, éstos solo podrían negociar de a pares. Esto se puede esquematizar con la figura 4.1.

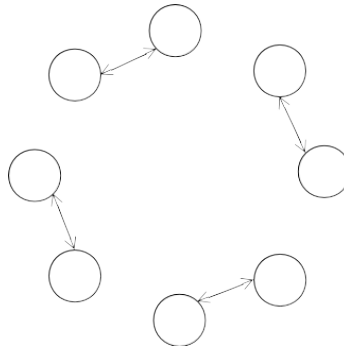


Fig. 4.1: Agentes negocian de a pares en un entorno multilateral.

Se presenta el ejemplo 4.1 que resulta útil para ejemplificar la interacción de a pares que pueden realizar los agentes.

Ejemplo 4.1. Tres agentes Ag_1 , Ag_2 y Ag_3 deben negociar para conseguir recursos, puesto que ninguno puede lograr su propio objetivo por no contar con los recursos necesarios.

Ag_1 necesita conseguir un martillo y tiene un pincel y un tornillo para ofrecer. Ag_2 necesita conseguir un tornillo y un destornillador, tiene disponible un martillo para ofrecer. Ag_3 necesita conseguir un pincel y tiene un destornillador sin usar.

¿Qué sucede si estos agentes negocian de a pares?

- Ag_1 negocia con Ag_2 : El agente Ag_1 le solicita el martillo a Ag_2 y a cambio le ofrece un pincel y un tornillo. Ag_2 responde que le da el martillo pero a cambio de un tornillo y un destornillador. Pero Ag_1 no tiene un destornillador, como consecuencia no hay acuerdo.
- Ag_1 negocia con Ag_3 : El agente Ag_1 le solicita un martillo y a cambio le ofrece un pincel. Ag_3 informa que quiere el pincel, pero que no tiene un martillo, que en su lugar puede darle un destornillador. Pero Ag_1 necesita un martillo, entonces no hay acuerdo.
- Ag_2 negocia con Ag_3 : Ag_2 le solicita un destornillador y un tornillo a Ag_3 . Éste le informa que no tiene un tornillo para darle. No hay acuerdo.

Las tres negociaciones de a pares fracasaron y ninguno de los agentes pudo lograr el objetivo.

Sin embargo, observando el problema como espectadores y con información completa, podemos fácilmente darnos cuenta que si Ag_1 le da su pincel a Ag_3 y su tornillo a Ag_2 , Ag_3 le da su destornillador a Ag_2 y éste le da su martillo a Ag_1 , los tres agentes pueden lograr sus objetivos.

La diferencia entre que todos consigan su objetivo o que ninguno lo consiga, está determinada por la capacidad o no que tengan los agentes de negociar multilateralmente.

Nuestra intención es lograr un modelo de negociación multilateral, se podría pensar en un esquema como el que se muestra en la figura 4.2.

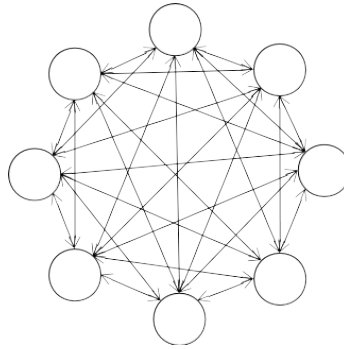


Fig. 4.2: Agentes negocian multilateralmente.

La primer alternativa es extender alguno de los modelos presentados en el Capítulo 3, de modo que en lugar de ser agentes bilaterales, se conviertan en agentes multilaterales. Estos agentes se definen a partir de su *estado mental* y su *mecanismo de decisión*. El *estado mental* de un agente bilateral esta compuesto por conocimiento propio (recursos y objetivos) y creencias sobre la contra-parte además del historial de negociación, así el estado mental de un agente bilateral Ag_i se representa con una tupla $MS_i = \langle R_i, G_i, B_iR_j, B_iG_j, H_i \rangle$.

El estado mental para el agente Ag_i en un entorno multilateral con n contra-partes debería ser $MS_i = \langle R_i, G_i, B_iR_1, B_iG_1, \dots, B_iR_n, B_iG_n, H_i \rangle$. Y si en la siguiente negociación hay m agentes negociadores ¿se modifica la definición del estado mental de un agente en cada escenario? y si la cantidad de agentes negociadores varía en el transcurso de una negociación ¿se reemplaza la tupla por una lista dinámica?

El *mecanismo de decisión* del agente bilateral presentado está compuesto por dos funciones: *Init* y *Answer*, ambas funciones tienen como argumento el estado mental del agente, por lo que estas funciones deberían redefinirse de acuerdo a cómo se redefina el estado mental del agente multilateral.

Lo mismo sucede con la definición de las propuestas. El agente que hace una propuesta, ¿propone sólo el intercambio que le compete: "*Le solicito al agente Ag_j los recursos Y y al agente Ag_r los recursos W , a cambio le ofrezco los recursos X al agente Ag_z* "? ¿O presenta en la propuesta la totalidad de intercambios que deben hacerse en el sistema?

Con respecto a la generación de las propuestas, los agentes bilaterales utilizan la función *Gen* (3.2.3) para calcular las soluciones a su problema, y también la utilizan para calcular, según sus creencias, las soluciones de su contra-parte. Luego, buscan soluciones que se repitan en ambos conjuntos, porque esas serán posibles acuerdos. Pero llevando esto a los agentes multilaterales, ¿todos los agentes tendrán que calcular todas las soluciones para todas las contra-partes según sus creencias? ¿cómo impacta esto a nivel computacional?

Se pueden seguir analizando distintos componentes de los modelos presentados en el capítulo anterior y cómo adaptarlos a un entorno multilateral. Pero, es evidente que la complejidad que contiene la negociación automática en entornos multilaterales deriva en una completa redefinición de los modelos bilaterales presentados. En este trabajo se pretende reutilizar los modelos presentados

en [17, 21], ya que son modelos que demostraron mejorar notablemente la negociación bilateral automática en entornos con conocimiento incompleto e incierto.

Esta tesis plantea como alternativa modificar la estructura multiagente compuesta por agentes bilaterales, incorporando un agente especial al entorno multilateral llamado *mediador*. Que negocie de manera bilateral con todos los agentes participantes de la negociación multilateral, como muestra la figura 4.3. De esta manera los agentes no dejan de ser bilaterales, pero se obtiene un modelo de negociación multilateral.

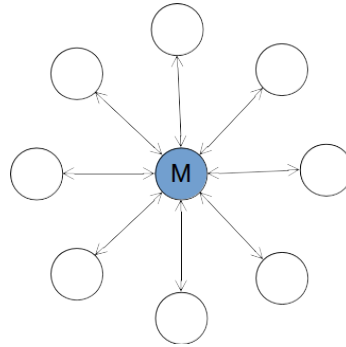


Fig. 4.3: Negociación multilateral.

4.3. Escenario de negociación

El escenario multiagente sobre el que se presenta este trabajo está compuesto por n agentes que sólo saben negociar bilateralmente (en adelante *agentes*) similares a los definidos en [17, 21] y un agente especial llamado *mediador*. Estos agentes no pueden cumplir su propio objetivo por no contar con los recursos necesarios y durante una ventana de tiempo t manifiestan al mediador, mediante una propuesta, su intención de negociar un intercambio de recursos a fin de conseguir los recursos faltantes.

Los agentes son honestos y benévolos¹, su arquitectura está compuesta por un estado mental y un mecanismo de decisión que definen su comportamiento al momento de aceptar, rechazar, generar o seleccionar propuestas. El mediador puede conocer la existencia y tener creencias sobre algunos de los agentes del sistema. Si no conoce la existencia de determinado agente, la conocerá cuando este agente manifieste su intención de negociar.

Al reutilizar la formalización de los agentes bilaterales, el lenguaje utilizado para definir este modelo de negociación multilateral es similar al definido en 3.2.1, siendo \mathcal{L} un lenguaje proposicional en el que se distinguen los siguientes conjuntos:

- $O_{\mathcal{L}}$: Un conjunto de átomos que representan *objetos*. Siendo estos parte de los recursos que los agentes pueden tener. Como por ejemplo: *martillo*, *pintura*, *escalera*.
- $G_{\mathcal{L}}$: Un conjunto de átomos que representan objetivos, como: *pintar_pared*, *colgar_espejo*.
- $P_{\mathcal{L}}$: Un conjunto de formulas de lógica proposicional que representan *planes*. Por ejemplo: $escalera \wedge pintura \wedge pincel \rightarrow pintar_pared$

¹ Si una propuesta le permite alcanzar su objetivo, la acepta.

- $R_{\mathcal{L}}$: El conjunto de los recursos que un agente puede tener, incluyendo *objetos* y *planes*. Es decir, $R_{\mathcal{L}} = O_{\mathcal{L}} \cup P_{\mathcal{L}}$

Diferenciamos a los objetos de los planes dentro de $X \subset R_{\mathcal{L}}$ con $X^{\downarrow o}$ y $X^{\downarrow p}$ respectivamente.

- $X^{\downarrow o} =_{def} X \cap O_{\mathcal{L}}$
- $X^{\downarrow p} =_{def} X \cap P_{\mathcal{L}}$

4.3.1. Sobre el mediador

Volviendo al ejemplo 4.1, se simula informalmente una secuencia de negociación con el mediador a fin de presentar el rol que éste ocupa en el proceso.

- Ag_1 necesita un *martillo*, y tiene un *pincel* y un *tornillo* para ofrecer.
- Ag_2 necesita un *tornillo* y un *destornillador* y tiene un *martillo* para ofrecer.
- Ag_3 necesita un *pincel* y tiene un *destornillador* para ofrecer.

Se da la siguiente secuencia de negociación con el mediador (M):

1. Ag_1 a M : *Solicito un martillo, a cambio te ofrezco un pincel*
2. Ag_2 a M : *Solicito un tornillo y un destornillador*
3. Ag_3 a M : *Solicito un pincel, a cambio te ofrezco un destornillador*

En este punto, si el mediador toma el pincel de Ag_1 puede dárselo a Ag_3 , sin embargo no puede conseguir el pincel pues no tiene un martillo para darle a Ag_1 . Suponiendo que el mediador tiene la creencia de que Ag_2 posee un martillo, se lo pide.

4. M a Ag_2 : *si te doy un tornillo y un destornillador, ¿me darías tu martillo?*
5. Ag_2 a M : *ok*

Ahora, el mediador ya conoce una forma de conseguir el martillo. Pero le esta faltando un tornillo. Entonces le propone a Ag_1 :

6. M a Ag_1 : *yo te doy un martillo, pero a cambio solicito un pincel y un tornillo*
7. Ag_1 a M : *ok*

El mediador ya tiene la forma de conseguir un tornillo, un destornillado, un pincel y un martillo. Solo resta que acepte la propuesta de Ag_3 y confirme los intercambios propuestos a Ag_1 y Ag_2 .

8. M a Ag_3 : *acepto*

Luego, el mediador recibirá todos los recursos y los repartirá.

En esencia, el mediador debe tener la capacidad de resolver el problema de intercambio de recursos, y plantearle a cada agente una propuesta de intercambio. En el ejemplo, el mediador sabía que Ag_2 tenía un martillo que no usaba, y Ag_1 un tornillo, a pesar que estos agentes no lo habían expuesto en el diálogo de negociación. Es decir, el mediador tenía información completa. Pero esto no siempre puede ser así, en su lugar el mediador puede tener información incompleta e incorrecta, por lo tanto, el mediador deberá incorporar revisión de creencias, para ir actualizando su estado mental mientras transcurre la negociación.

Además, el mediador actúa siempre como la contra-parte de los agentes bilaterales. Éstos no tienen conocimiento si detrás del mediador hay 1, 5 o n agentes. Ellos siempre negocian bilateralmente.

4.4. Definiendo al Mediador

Para introducir este modelo de mediador, se presenta una versión modificada del *Home Improvement Agents Problem* (HIA) [18].

Ejemplo 4.2. Tres agentes, Ag_1 , Ag_2 y Ag_3 , deben mejorar una habitación. El agente Ag_1 tiene como objetivo colgar un cuadro, Ag_2 pintar una pared y Ag_3 tiene como objetivo colgar un espejo.

El agente Ag_1 tiene un martillo y pintura, cree que hay un agente que tiene un clavo y sabe que con un martillo y un clavo, puede colgar un cuadro.

Por otro lado, el agente Ag_2 tiene una escalera y sabe que con una escalera, un pincel y pintura puede pintar una pared, siendo éste su objetivo. Adicionalmente, tiene un clavo y un destornillador, y cree que hay un agente que tiene pintura y un pincel.

Finalmente, Ag_3 tiene un pincel y un tornillo, necesita un destornillador porque tiene que colgar un espejo y sabe hacerlo con un destornillador y un tornillo.

El entorno de negociación posee un mediador M que conoce la existencia de Ag_3 y cree que posee un pincel y un clavo, pero no conoce su objetivo.

4.4.1. Estado mental del mediador

El mediador recibirá las propuestas provenientes de los distintos agentes, analizará qué recursos se están solicitando y resolverá cómo obtenerlos. Por ejemplo:

- El agente Ag_i solicita el recurso r_x y a cambio propone dar el recurso r_y
- El agente Ag_j solicita el recurso r_w y a cambio ofrece el recurso r_x
- El agente Ag_k solicita el recurso r_y , pero no ofrece nada a cambio.

El mediador analizará que se está solicitando r_x , r_y y r_w . Como Ag_j ofrece r_x , y Ag_i ofrece r_y , el mediador ya sabe cómo obtener esos dos recursos. Es distinto el caso de r_w , pues ningún agente lo ofreció en ninguna propuesta. En este caso, el mediador deberá utilizar sus creencias para determinar qué agente puede tener r_w y así solicitárselo. Por ejemplo, si el mediador cree que Ag_k tiene r_w , le hará una propuesta en donde se compromete a darle r_y pero a cambio de r_w .

Por lo tanto, definimos el estado mental del mediador (M) con dos conjuntos², los cuales uno contiene información sobre la última propuesta realizada por el agente y el historial de negociación, y el otro contiene las creencias que tiene el mediador sobre los agentes.

Definición 4.1. *Estado Mental del Mediador*

Se define el estado mental del Mediador (M) como una tupla $S = \langle C_P, C_B \rangle$, en donde:

- El conjunto de propuestas $C_P = [\langle Y_i, X_i, A_i, H_i \rangle_i \mid \forall i : Ag_i \text{ es un agente que inicio una negociación con el mediador y } p = (A_i, \llbracket X_i, Y_i \rrbracket_i) \text{ es la última propuesta realizada por } Ag_i].$
- El conjunto de creencias $C_B = [\langle BR_i, BG_i \rangle \mid \forall i : Ag_i \text{ es un agente que inició una negociación con el mediador}]$

En la definición, A_i es la justificación que presentó el agente Ag_i en su última propuesta, H_i el historial de negociación con el agente Ag_i , BR_i son las creencias que tiene el mediador sobre los recursos que posee Ag_i y BG_i son las creencias sobre su objetivo.

En el ejemplo, inicialmente el conjunto de propuestas esta vacío, y el conjunto de creencias sólo contiene información acerca de lo que el mediador cree de Ag_3 .

Ag_i	BR_i	BG_i
3	pincel clavo	

Tab. 4.1: Conjunto de creencias del mediador al inicio del proceso.

En este modelo, las propuestas se definen de manera similar a las presentadas en 3.4.

Definición 4.2. *Propuesta*

Sean X, Y, O subconjuntos de R_C y G subconjunto de G_C . Una propuesta hecha por Ag_i es una tupla $\langle A_i, \llbracket X, Y \rrbracket_i \rangle$ donde $\llbracket X, Y \rrbracket_i$ es el intercambio que propone el agente y $A_i = (O, G)$ es la justificación. Y se cumplen las siguientes condiciones:

- $Y \cup O \vdash G$
- $O \not\vdash G$
- $X \cap (Y \cup O) = \emptyset$

La primer condición hace referencia a que el agente Ag_i solicita los recursos Y porque junto a los recursos O que ya posee puede alcanzar el objetivo G . Caso contrario, sin los recursos Y , el agente no puede alcanzar el objetivo G (segunda condición). La tercera condición está indicando que el agente no va a ofrecer recursos que tenga que utilizar para alcanzar el objetivo G .

Adicionalmente se incluye en este modelo la posibilidad de que el agente pueda hacer una pequeña crítica a la propuesta recibida. Tanto para rechazar una propuesta porque no posee alguno o ninguno de los recursos que le son solicitados (o no está dispuesto a entregarlos) o porque no le resulta útil para cumplir con su objetivo.

² Para mayor legibilidad, estos conjuntos se esquematizarán con tablas.

Definición 4.3. Crítica

Sea una propuesta $p = \langle (O, G), \llbracket X, Y \rrbracket_i \rangle$, se define una crítica $C = \langle C_1, C_2 \rangle$, donde $C_1 \subset R_{\mathcal{L}}$ y $C_2 \subset G_{\mathcal{L}}$, y se cumple alguna de las condiciones:

- $(Y - C_1) \cup O \not\prec G$, el agente manifiesta no poder entregar los recursos C_1
- $C_2 \in G_{\mathcal{L}}$, el agente manifiesta que sus objetivos C_2 no pueden lograrse con el intercambio propuesto.

Si bien el mediador mantendrá negociaciones simultáneas con los agentes que participan del proceso como se muestra en la figura 4.3, éstas no deben verse como negociaciones independientes, pues estarán interrelacionadas y sincronizadas por el mediador. El diálogo de negociación con cada uno de ellos será una secuencia finita de mensajes que se enviarán alternadamente. Siempre será el agente quien inicie el diálogo, manifestando con una propuesta su intención de entrar al proceso de negociación. Una negociación que finaliza en acuerdo, siempre deberá ser confirmada por el mediador, sin embargo, el agente puede retirarse de la negociación.

Es preciso que sea el mediador quien confirme el acuerdo, pues al estar negociando simultánea y sincronizadamente con varios agentes, puede que necesite que todos los agentes acepten las propuestas para lograr un intercambio exitoso.

Definición 4.4. El diálogo entre un agente Ag y el mediador M es una secuencia finita de mensajes $[m_1, \dots, m_{n-1}, m_n]$, que se envían alternadamente, donde:

- m_1 es una propuesta realizada por Ag a M .
- Para $1 < i < n - 1$:
 - Si m_{i-1} fue enviado por M :
 - $m_i \in \{(C_i, P_i), \text{acepto}\}$ es enviado por Ag , donde P_i es una propuesta y C_i es una crítica a la propuesta P_{i-1} .
 - Si m_{i-1} fue enviado por Ag :
 - $m_i = \{(C_i, P_i)\}$ es enviado por M
- Si el último mensaje m_n es enviado por Ag , sólo puede ser: retirarse
- Si el último mensaje lo envía M , $m_n \in \{\text{confirmado}, \text{retirarse}\}$

La primera condición nos dice que el primer mensaje siempre es una propuesta que envía un agente al mediador, este mensaje debe estar dentro de la ventana de tiempo t^3 en donde los agentes manifiestan su intención de negociar un intercambio de recursos. Durante el resto de la negociación los mensajes están compuestos de una crítica a la propuesta anterior y una nueva contra propuesta. El diálogo puede finalizar de dos maneras, la primera es cuando el agente o el mediador se retiran de la negociación. La segunda es cuando se logra un acuerdo, siempre debe ser el mediador quien confirme el acuerdo.

En consecuencia, el diálogo entre el mediador y los agentes, puede esquematizarse como se muestra en la figura 4.4.

³ De acuerdo al escenario de negociación definido en Sec. 4.3.

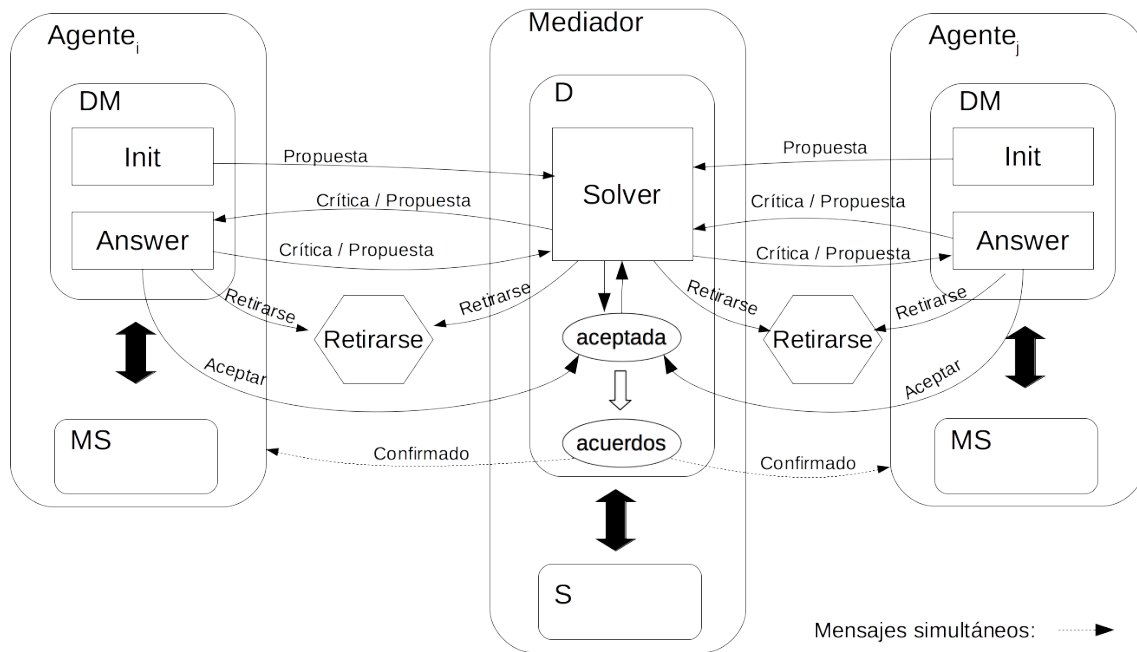


Fig. 4.4: Diálogo entre los agentes y el mediador.

Cada vez que el mediador recibe un mensaje, extrae la información que contiene y utiliza operadores de revisión de creencias para actualizar su estado mental.

Al recibir un mensaje proveniente de Ag_i que contiene una crítica $C = \langle C_1, C_2 \rangle$ y una propuesta $P = \langle \langle O, G \rangle, \llbracket X, Y \rrbracket_i \rangle$ y siendo $\langle BR_i, BG_i \rangle_i$ las creencias que tiene el mediador sobre el agente Ag_i , el mediador actualiza estas creencias mediante las siguientes operaciones, definidas a partir de los operadores de revisión de creencias (sección 2.2):

1. $BR_i \leftarrow \text{contraer}(BR_i, C_1)$
2. $BR_i \leftarrow \text{contraer}(BR_i, Y)$
3. $BR_i \leftarrow \text{revisar}(BR_i, O)$
4. $BR_i \leftarrow \text{revisar}(BR_i, X)$
5. $BG_i \leftarrow \text{revisar}(BG_i, C_2)$
6. $BG_i \leftarrow \text{revisar}(BG_i, G)$

4.4.2. Mecanismo de decisión del mediador

Volviendo al Ejemplo 4.2, ninguno de los tres agentes puede conseguir su objetivo con recursos propios. Por lo tanto, van a enviar una propuesta al mediador manifestando su intención de ingresar al proceso de negociación. El mediador (M) recibe las siguientes propuestas:

- Ag_1 propone dar pintura a cambio de un clavo. Porque tiene un martillo, su objetivo es colgar un cuadro y sabe cómo hacerlo con un clavo y un martillo.

$$P_1^1 = \langle (\{martillo, clavo \wedge martillo \rightarrow colgar_cuadro\}, \{colgar_cuadro\}), \llbracket \{pintura\}, \{clavo\} \rrbracket \rangle_1.$$

- Ag_2 propone dar un destornillador a cambio de pintura y un pince, porque tiene que pintar una pared, sabe hacerlo con pintura, pincel y una escalera que ya tiene.

$$P_2^1 = \langle (\{escalera, pincel \wedge pintura \wedge escalera \rightarrow pintar_pared\}, \{pintar_pared\}), \llbracket \{destornillador\}, \{pintura, pincel\} \rrbracket \rangle_2.$$

- Ag_3 solicita un destornillador, porque tiene un tornillo, y sabe como colgar un espejo con un tornillo y un destornillador. Colgar un espejo es su objetivo. Pero no ofrece nada a cambio.

$$P_3^1 = \langle (\{tornillo, tornillo \wedge destornillador \rightarrow colgar_espejo\}, \{colgar_espejo\}), \llbracket \{\}, \{destornillador\} \rrbracket \rangle_1.$$

El mediador extrae la información contenida en las propuestas y la incorpora al conjunto de propuestas esquematizado en la tabla 4.2 y al conjunto de creencias acerca de los distintos agentes, esquematizado en 4.3 :

Ag	Y	X	Argumento	Hist.
1	clavo	pintura	martillo $clavo \wedge martillo \rightarrow colgar_cuadro$ colgar_cuadro	H_1
2	pintura pincel	destornillador	escalera $pincel \wedge pintura \wedge escalera \rightarrow pintar_pared$ pintar_pared	H_2
3	destornillador		tornillo $tornillo \wedge destornillador \rightarrow colgar_espejo$ colgar_espejo	H_3

Tab. 4.2: Conjunto de propuestas.

Ag	BR_i	BG_i
1	pintura martillo	colgar_cuadro
2	destornillador escalera	pintar_pared
3	tornillo pincel clavo	colgar_espejo

Tab. 4.3: Conjunto de creencias.

En el conjunto de propuestas, el mediador puede identificar los recursos que se están solicitando: $\{clavo, pintura, pincel, destornillador\}$

Es trabajo del mediador razonar cómo conseguir todos los recursos que son solicitados para luego distribuirlos entre quienes lo necesiten. Se puede pensar cada recurso solicitado como un nodo de un grafo. Luego, un conjunto de aristas dirigidas y etiquetadas, que representen a qué agente se le solicitará el recurso y qué recurso (o cuáles) se le dará a cambio.

En la figura 4.5, 'a', 'b' y 'c' son recursos solicitados. El grafo dirigido representa que la propuesta a Ag_i será: "te doy 'a' si a cambio me das 'b'" y la propuesta para Ag_r será: "te doy 'b' si a cambio me das 'a' y 'c'".

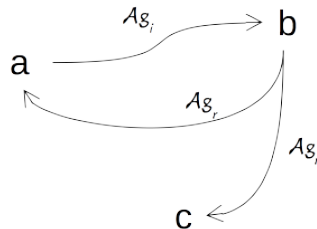


Fig. 4.5: Ejemplo grafo dirigido.

En síntesis, el mediador debe pensar a cada recurso solicitado como un nodo de un grafo y luego generar aristas dirigidas de modo tal que no quede ningún nodo con grado de entrada igual a cero.

Volviendo al ejemplo, los nodos se muestran en la figura 4.6.

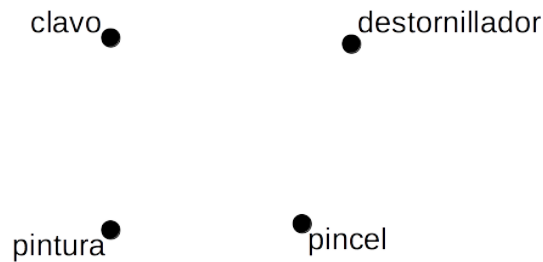


Fig. 4.6: Nodos del grafo.

Para encontrar las aristas del grafo, el mediador utiliza sus creencias. Uno de los recursos solicitado es *pintura* y por el conjunto de propuestas, M sabe que el agente Ag_i está dispuesto a entregar *pintura* si a cambio le dan un *clavo*, entonces se *dibuja* una arista (r_1, r_2) y se etiqueta con el agente Ag_i , si $r_2 \in X_i$ y $r_1 \in Y_i$. Donde $\llbracket X_i, Y_i \rrbracket_i$ es la propuesta de intercambio de Ag_i . Como estas aristas están generadas a partir de propuestas realizadas por los agentes, las llamamos *aristas fuertes*.

En la siguiente figura 4.7 se muestra el grafo del ejemplo:

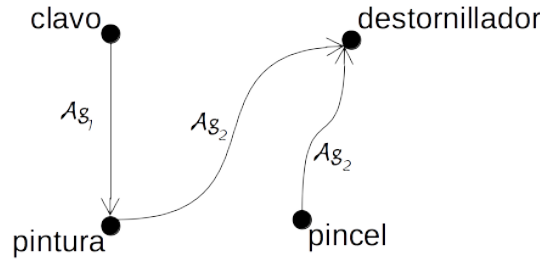


Fig. 4.7: Grafo con aristas fuertes.

El mediador tiene resuelto cómo conseguir *pintura* y un *destornillador*. Sin embargo, los recursos *clavo* y *pincel* aun son nodos con grado de entrada cero, es decir, aún no está definido a qué agentes se les solicitará esos recursos.

Es aquí donde el mediador utiliza sus creencias, si el recurso r_s es un nodo con grado de entrada cero y M cree que lo posee Ag_i , entonces se lo solicitará siempre y cuando no sea un recurso que Ag_i manifestó utilizar. Por lo tanto, se *dibuja* una arista (r_1, r_2) y se etiqueta con el agente Ag_i , si $r_2 \in BR_i \wedge r_2 \notin A_i$ y $r_1 \in Y_i$. Donde $[[X_i, Y_i]]_i$ es la propuesta realizada por Ag_i , BR_i las creencias que tiene M sobre Ag_i y A_i el argumento que presentó Ag_i en su propuesta. Como estas aristas se generan a partir de las creencias del mediador, las llamamos *aristas débiles*.

Siguiendo con el ejemplo, el mediador cree que Ag_3 posee un *clavo* y un *pincel*, y cómo lo que solicita es un *destornillador*, el grafo resultante se muestra en la figura 4.8.

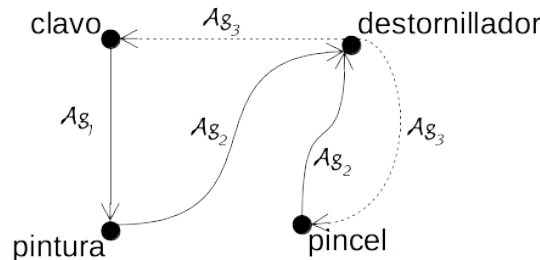


Fig. 4.8: Grafo dirigido resultante.

Teniendo todos los nodos del grafo grado de entrada mayor a cero, el mediador entiende que el problema de intercambio de recursos se resuelve si:

1. Al agente Ag_1 le intercambia un *clavo* por *pintura*.
2. Al agente Ag_2 le da un *pincel* y *pintura* a cambio del *destornillador*.
3. Al agente Ag_3 le da el *destornillador* a cambio de un *clavo* y un *pincel*.

Las propuestas 1 y 2 son coincidentes con las propuestas presentadas por los agentes Ag_1 y Ag_2 respectivamente, por lo que sólo bastaría con *confirmarlas*. Sin embargo, para que se pueda completar el intercambio, tiene que aceptar la propuesta el agente Ag_3 .

Sin embargo, la propuesta generada para Ag_3 está basada en creencias iniciales de M incorrectas, pues Ag_3 no posee un *clavo*.

Ag_3 rechaza la propuesta, con una crítica indicando que no tiene un *clavo* y como contra propuesta propone intercambiar el *pincel* por el *destornillador*. El mediador recibe la contrapropuesta y actualiza su estado mental, quedando representado en las Tablas 4.4 y 4.5:

Ag	Y	X	Argumento	Hist.
1	<i>clavo</i>	<i>pintura</i>	<i>martillo</i> $clavo \wedge martillo \rightarrow colgar_cuadro$ <i>colgar_cuadro</i>	H_1
2	<i>pintura</i> <i>pincel</i>	<i>destornillador</i>	<i>escalera</i> $pincel \wedge pintura \wedge escalera \rightarrow pintar_pared$ <i>pintar_pared</i>	H_2
3	<i>destornillador</i>	<i>pincel</i>	<i>tornillo</i> $tornillo \wedge destornillador \rightarrow colgar_espejo$ <i>colgar_espejo</i>	H_3

Tab. 4.4: Conjunto de propuestas.

Ag	BR_i	BG_i
1	<i>pintura</i> <i>martillo</i>	<i>colgar_cuadro</i>
2	<i>destornillador</i> <i>escalera</i>	<i>pintar_pared</i>
3	<i>tornillo</i> <i>pincel</i>	<i>colgar_espejo</i>

Tab. 4.5: Conjunto de creencias.

En base a su conocimiento actualizado, el mediador vuelve a armar el grafo en Figura 4.9:

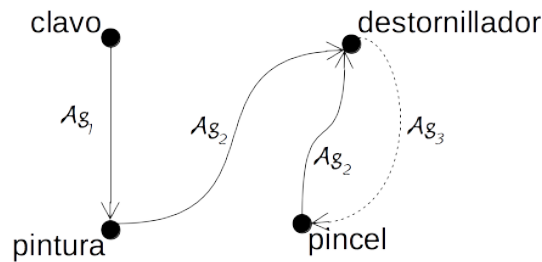


Fig. 4.9: Grafo dirigido con aristas fuertes y débiles.

En esta ocasión, el grafo queda incompleto. El nodo *clavo* tiene grado de entrada cero. En el primer ciclo del armado de grafo (figura 4.8), el mediador utilizó su creencia de que el agente Ag_3 poseía un *clavo*, y por lo tanto decidió solicitárselo. Sin embargo, el mediador tenía una creencia errónea, la cual fue corregida aplicando los operadores de revisión de creencias al recibir la crítica de Ag_3 .

En consecuencia, el mediador debe encontrar otras alternativas para completar el grafo. Entre los tres agentes, Ag_1 está solicitando un *clavo*, por lo tanto no puede tenerlo. Ag_3 manifestó no

tener un *clavo*. La única opción es pedirle el *clavo* a Ag_2 . La segunda versión del grafo se muestra en la Figura 4.10:

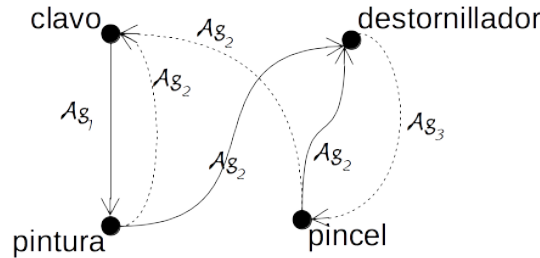


Fig. 4.10: Segunda versión grafo resultante.

Si M , al realizar este razonamiento en base a los historiales de negociación con los agentes, no consigue determinar una única opción a quién solicitarle determinado recurso, no tiene más alternativa que realizar una selección aleatoria.

Continuando con el ejemplo, a partir de que el grafo está completo, el problema quedaría resuelto si:

1. Al agente Ag_1 le intercambia un *clavo* por *pintura*.
2. Al agente Ag_2 le da un *pincel* y *pintura* a cambio del *destornillador* y un *clavo*.
3. Al agente Ag_3 le da el *destornillador* a cambio de un *pincel*.

Tanto el punto 1 como el 3, son coincidentes con las propuestas realizadas por los agentes, basta con que el agente Ag_2 acepte la propuesta de intercambio.

Cómo Ag_2 recibe lo que está solicitando, y además tiene un *clavo* y un *destornillador* que no utiliza para conseguir su objetivo, no tiene motivos para rechazar la propuesta⁴, por lo tanto la acepta.

Como Ag_2 aceptó la propuesta, y al mediador le sirven las propuestas realizadas por Ag_1 y Ag_3 , M envía la confirmación a los tres agentes, toma los recursos y los distribuye según lo acordado.

A continuación se formaliza este mecanismo de decisión del mediador.

Definición 4.5. El Mecanismo de decisión del mediador M es una tupla $D = \langle GenGrafo, GenProp \rangle$ donde

$$GenGrafo : S \rightarrow Grafo$$

$$GenProp : Grafo \rightarrow Propuestas$$

La función $GenGrafo$ se encarga de armar el grafo que determina cómo debe ser el intercambio de recursos para que todos los agentes puedan conseguir los recursos solicitados y lograr sus objetivos. En este trabajo, se define esta función de acuerdo al Algoritmo 1.

La función $GenProp$ toma un grafo y devuelve las propuestas, de acuerdo a la definición 4.2, que deben hacerse a cada agente.

Podemos definir entonces a un mediador como:

⁴ Entendiendo que los agentes son honestos, benévolos y tienen deseo de cooperar.

Definición 4.6. Mediador

Un mediador M es un tupla $\langle S, D \rangle$, donde S representa su estado mental y D su mecanismo de decisión.

Describimos el proceso que realiza el mediador Algoritmo 2.

Algoritmo 1: armar_grafo

Entrada: CP : Tabla que esquematiza el conjunto de propuestas

CB : Tabla que esquematiza el conjunto de creencias

Salida : G : Grafo completo

```

1  $G \leftarrow buscar\_nodos(CP)$ 
2  $G \leftarrow aristas\_fuertes(CP)$  // crea las aristas fuertes
3 if  $nodos\_grado\_cero(G)$  then
   | // Si hay nodos con grado de entrada igual a cero
4 |  $G \leftarrow aristas\_debiles(CB)$  // crea las aristas débiles
5 if  $nodos\_grado\_cero(G)$  then
   | // Si sigue habiendo nodos con grado de entrada igual a cero
6 |  $G \leftarrow completar(CP, CB)$  // completa el grafo en base al historial y/o
   | aleatoriamente si no tiene datos
7 return  $G$ 

```

Algoritmo 2: Mediador

```

1  $P \leftarrow recibir\_propuestas()$ 
2  $CP \leftarrow armar\_tp(P)$  // arma la tabla que esquematiza el conjunto de
   | propuestas
3  $CB \leftarrow actualiza\_tb(P)$  // actualiza la tabla que esquematiza el conjunto
   | de creencias
4  $G \leftarrow armar\_grafo(CP, CB)$  // arma el grafo
5 if  $no\_genero\_grafo(G)$  then
6 | return  $sin\_acuerdo$  // si el mediador no puede armar el grafo
7  $genera\_propuestas(G)$  // genera y envía las propuestas
8 if  $todos\_aceptan$  then
9 |  $confirmar()$ 
11 | return  $acuerdo\_ok$  // finaliza la negociación con acuerdo
12 else
13 |  $P \leftarrow recibir\_contrapropuestas()$ 
14 | if  $alguien\_se\_retiro$  then
15 | |  $retirarse()$ 
16 | | return  $sin\_acuerdo$  // finaliza la negociación sin acuerdo
17 |  $CP \leftarrow actualizar\_tp(P)$  // actualiza la tabla de propuestas
19 | go to 3 // actualiza las creencias y vuelve a armar el grafo

```

4.5. Conclusiones

Se presento en este capítulo una primera versión de un agente especial llamado *mediador*. Éste agente especial se inserta en un entorno de múltiples agentes que negocian bilateralmente, permitiendo lograr una negociación multilateral sin modificar la estructura de los agentes bilaterales. El *mediador* siempre es la contra-parte de todos los agentes. Ninguno de ellos conoce que hay detrás del mediador, si hay un solo agente o n agentes.

El mediador se encarga de encontrar la solución al problema de intercambio de recursos. Identificando qué recursos son solicitados y determinando qué intercambio debe hacer cada agente para lograr una solución global, si ésta es posible.

Sin embargo, esta es una versión muy simplificada del agente *mediador*, ya que sólo toma en cuenta los intercambios que proponen los agentes. No toma en cuenta el conocimiento que tienen los agentes para alcanzar determinado objetivo, tampoco realiza un proceso de inferencia ni argumenta sobre lo que le esta ofreciendo a los agentes. En el Capítulo siguiente se presenta un modelo más complejo del agente mediador que tiene una participación más activa en el proceso de negociación.

Incorporando un motor de inferencia

5.1. Limitaciones del modelo anterior

En el capítulo anterior se presentó una primera versión del agente especial llamado *mediador*. Sin embargo esa versión tiene algunas limitaciones y para ciertos escenarios de negociación este mediador no resulta útil. Para introducir este capítulo, se presenta una versión modificada del ejemplo 4.2, manteniéndose dentro del escenario descrito en la Sección 4.3.

Ejemplo 5.1. Tres agentes, Ag_1 , Ag_2 y Ag_3 tienen los siguientes objetivos: el agente Ag_1 tiene como objetivo mejorar una pared, Ag_2 arreglar una mesa y Ag_3 tiene como objetivo colgar un espejo.

El agente Ag_1 tiene un martillo, sabe que con un martillo y un clavo puede colgar un cuadro. Y sabe también que colgando un cuadro, se mejora una pared.

Por otro lado, el agente Ag_2 tiene una escalera, pintura, un clavo y un destornillador. Y sabe que con una escalera, un pincel y pintura puede pintar una pared, y que con un clavo y un martillo, puede arreglar la mesa.

Finalmente, Ag_3 tiene un pincel y un tornillo, necesita un destornillador porque tiene que colgar un espejo y sabe hacerlo con un destornillador y un tornillo. Además sabe que pintando una pared, se mejora la pared.

El entorno de negociación posee un mediador M .

El mediador del capítulo anterior se va a encontrar con que:

- Ag_1 va a solicitar un clavo.
- Ag_2 va a solicitar un martillo, y a cambio puede ofrecer un destornillador, una escalera y pintura.
- Ag_3 va a solicitar un destornillador y a cambio puede ofrecer un pincel.

El mediador va a tomar las propuestas y va a intentar armar el grafo. Sin embargo, tarde o

temprano se va a encontrar con un conflicto: terminará deduciendo que el clavo lo tiene Ag_2 , pero no se lo va a poder pedir ya que Ag_2 tiene que usarlo para cumplir su objetivo.

Volvemos a pararnos como espectadores y con información completa analizamos el problema desde afuera. El objetivo de Ag_1 no es tener un clavo sino mejorar una pared, y la única forma que conoce de mejorar una pared es colgando un cuadro y para ello necesita el clavo. Pero si se lograra transferir a Ag_1 el conocimiento que tiene Ag_2 ("con una escalera, un pincel y pintura se puede pintar una pared") y el que tiene Ag_3 ("pintando una pared, se mejora la pared") junto con la escalera, pintura y un pincel, Ag_1 podría lograr su objetivo. Además de lograr su objetivo, podría entregar a cambio el martillo para Ag_2 así este agente también puede lograr su objetivo.

Para que el *mediador* pueda resolver el problema de esta manera es necesario que incorpore un motor de inferencia. Además debe modificarse el modelo para incluir en las propuestas argumentos acerca de lo que se ofrece.

5.2. Enriqueciendo el modelo

En primer término, en este nuevo modelo redefinimos a las propuestas de manera tal que se asemejen más a las presentadas en la Sección 3.3.1.

Definición 5.1. Propuesta

Sean R_d, R_{ds}, R_o, R_{os} subconjuntos de $R_{\mathcal{L}}$ y G_d, G_o elementos de $G_{\mathcal{L}}$. Una propuesta es una tupla (d, o) , donde su primer componente d corresponde a la demanda del agente $d = \langle R_d, R_{ds}, G_d \rangle$ y el segundo componente o , es la oferta $o = \langle R_o, R_{os}, G_o \rangle$ y las siguientes condiciones se cumplen:

1. $R_d \cup R_{ds} \vdash G_d$, "solicito los recursos R_d , porque junto a los recursos R_{ds} que poseo, puedo alcanzar el objetivo G_d ".
2. $R_{ds} \not\vdash G_d$, "Solo con los recursos R_{ds} , no puedo alcanzar el objetivo G_d ".
3. $R_o \cup R_{os} \vdash G_o$, "Ofrezco los recursos R_o , porque junto a los recursos R_{os} puedes alcanzar el objetivo G_o ".
4. $R_{os} \not\vdash G_o$, "Solo con los recursos R_{os} , no se puede alcanzar el objetivo G_o ".

De esta manera el mediador puede argumentar sobre lo que le ofrece al agente y así lograr traspasarle nuevo conocimiento. De la misma manera, los agentes pueden traspasarle conocimiento al mediador.

En el primer modelo de mediador se definió su estado mental con dos conjuntos, uno con las propuestas realizadas por el agente y otro con el conocimiento que tiene el mediador sobre los agentes. En este nuevo modelo se incorpora al estado mental del mediador una base de conocimiento generada a partir de negociaciones anteriores, que se va extendiendo durante el proceso de negociación en curso.

Definición 5.2. Estado Mental del Mediador

Se define el estado mental del Mediador (M) como una tupla $S = \langle C_P, C_B, KB \rangle$, en donde:

- El conjunto de propuestas $C_P = [\langle R_{d_i}, R_{o_i}, A_{d_i}, H_i \rangle_i \mid \forall i : Ag_i \text{ es un agente que inició una negociación con el mediador}]$, R_{d_i} es la demanda en la última propuesta realizada por Ag_i , R_{o_i} es la oferta en la última propuesta realizada por Ag_i y $A_{d_i} = (R_{ds} \cup G_d)$ es el argumento que utilizó Ag_i al solicitar los recursos R_{d_i}

- El conjunto de creencias $C_B = [\langle BR_i, BG_i \rangle \mid \forall i : Ag_i \text{ es un agente que inició una negociación con el mediador}]$
- $KB \subset R_{\mathcal{L}}$ es la base de conocimiento del mediador.

Al igual que en el modelo anterior, el mediador recibirá las propuestas, actualizará su estado mental y deberá encontrar una solución al problema de intercambio de recursos para que los agentes puedan cumplir sus objetivos.

Si bien el mediador extraerá conocimiento de las propuestas, puede que no todo el conocimiento necesario para resolver el problema se encuentre en las propuestas de los agentes. Por ejemplo, puede que un agente tenga cierto conocimiento de cómo lograr determinado objetivo, pero no lo manifieste por no considerarlo relevante para la negociación. Sin embargo, el mediador sí sabe qué conocimiento es relevante para resolver el problema de intercambio de recursos.

En consecuencia, se incorpora adicionalmente a este modelo la posibilidad de que el mediador, en ocasiones donde no pueda encontrar una solución global, haga consultas a los agentes para adquirir nuevo conocimiento.

Definición 5.3. *Consulta y Respuesta*

Sea M un mediador y Ag un agente, una consulta del mediador al agente es un mensaje $ask(G')$ donde $G' \subset G_{\mathcal{L}}$ y una respuesta a una consulta es un mensaje $ans(P', G')$ donde $P' \subset P_{\mathcal{L}}$ y cada $p \in P'$ es un plan cuya conclusión $g' \in G'$.

Por lo tanto, reformulamos la definición del diálogo de negociación.

Definición 5.4. *El diálogo entre un agente Ag y el mediador M es una secuencia finita de mensajes $[m_1, \dots, m_{n-1}, m_n]$ donde, cada mensaje puede ser una propuesta, una consulta (ask) o una respuesta (ans), y se cumple que:*

- m_1 es una propuesta realizada por Ag a M .
- Para $1 < i < n - 1$:
 - Si m_{i-1} fue enviado por M :
 - Si $m_{i-1} = P_{i-1}$, entonces $m_i \in \{(C_i, P_i), \text{acepto}\}$ es enviado por Ag , donde P_i es una propuesta y C_i es una crítica a la propuesta P_{i-1} .
 - Si $m_{i-1} = ask(G')$, entonces $m_i = ans(P', G')$ es la respuesta del agente a la consulta.
 - Si m_{i-1} fue una propuesta enviada por Ag :
 - entonces $m_i \in \{(C_i, P_i), ask(G')\}$ es enviado por M , donde: C_i es una crítica a la propuesta P_{i-1} ; $ask(G')$ es una consulta del mediador al agente.
- Si m_{n-1} fue enviado por M , entonces $m_n = \text{retirarse}$
- Si m_{n-1} fue enviado por Ag , entonces $m_n \in \{\text{confirmado}, \text{retirarse}\}$

El dialogo es similar que en el modelo anterior, pero contemplando la posibilidad de las consultas que pueda hacerle el mediador a los agentes. Nótese que el mensaje posterior a una consulta del mediador debe ser una respuesta del agente. Y si el agente no tiene conocimiento relevante para el mediador, simplemente envía un conjunto vacío.

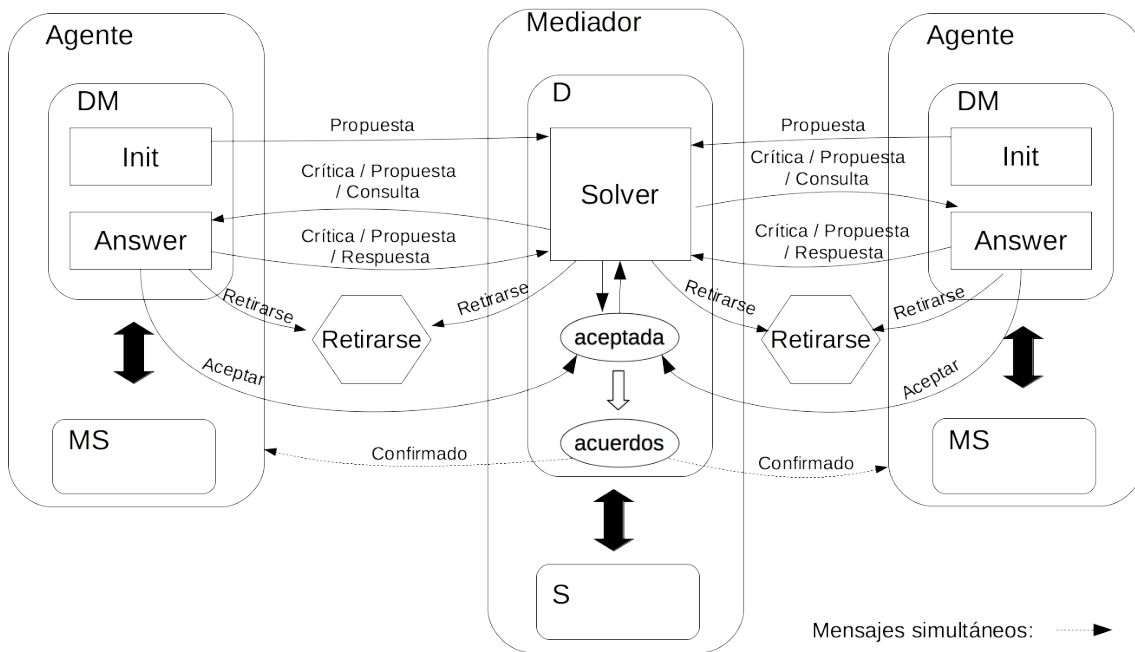


Fig. 5.1: Diálogo entre los agentes y el mediador.

5.2.1. Incorporando un motor inferencia

Como se mencionó anteriormente, en este segundo modelo se busca que el mediador tenga una participación más activa en el proceso de negociación. En el modelo de mediador anterior, cuando un agente manifestaba querer alcanzar el objetivo G_i , y solicitaba los recursos Y_i ya que junto a los recursos que poseía O_i y utilizando el plan P_i podía lograrlo, el mediador buscaba la forma de conseguir los recursos Y_i . En este segundo modelo, el mediador no se limita a intentar conseguir los recursos solicitados por el agente para que éste pueda lograr su objetivo utilizando el plan P_i , sino que busca distintas alternativas de lograr el objetivo G_i , selecciona la más adecuada para el problema y se la presenta al agente.

Al recibir las propuestas, el mediador actualiza su estado mental, incluyendo su base de conocimientos. Luego debe encontrar las distintas formas para alcanzar cada uno de los objetivos de los agentes.

Como base del proceso de inferencia se utiliza el algoritmo de *resolución* presentado en [22] y que puede verse en detalle en el apéndice B. Este algoritmo permite decidir si a partir de una base de conocimiento BC puede inferirse una sentencia α ($BC \vdash \alpha$).

El algoritmo de resolución nos provee entonces un mecanismo para determinar si una sentencia puede derivarse a partir de una base de conocimiento. Cuando el mediador debe encontrar distintas alternativas de lograr un objetivo G , explora con qué alternativas el algoritmo de resolución devuelve *True* para el objetivo G .

5.2.2. Mecanismo de decisión

El mediador recibe las propuestas, determina qué objetivos quiere cumplir cada agente y utiliza su base de conocimiento para encontrar distintas formas de lograr cada objetivo. Sin embargo, aún debe determinar una solución global de intercambio de recursos. Para esta etapa el mediador utiliza el conocimiento que tiene de la negociación en proceso.

Uno de los puntos a tener en cuenta es que, como se tienen que poder cumplir todos los objetivos al mismo tiempo, el mediador no puede destinar el mismo recurso al cumplimiento de dos objetivos distintos. En nuestro ejemplo, el mediador puede determinar que se puede mejorar una pared colgando un cuadro con un clavo y un martillo o pintando la pared con una escalera, un pincel y pintura. Pero sabe además que otro agente tiene que arreglar una mesa, y para ello necesita un clavo y un martillo. Entonces, el mediador no puede destinar el martillo y el clavo para cumplir ambos objetivos.

En primer término, para encontrar una solución global, el mediador tiene que encontrar combinaciones compatibles de soluciones individuales. Se puede pensar que el mediador arma un árbol de compatibilidad, en el que los nodos del nivel n son soluciones individuales para el objetivo G_n .

Ejemplificando:

Se deben cumplir 4 objetivos, G_1, G_2, G_3 y G_4 , de los agentes Ag_1, Ag_2, Ag_3 y Ag_4 respectivamente, y se sabe que $H \wedge M \Rightarrow G_1$, $O \wedge L \Rightarrow G_1$, $I \wedge A \Rightarrow G_2$, $N \Rightarrow G_2$, $N \Rightarrow G_3$, $F \wedge L \Rightarrow G_3$, $O \wedge C \Rightarrow G_4$, $N \Rightarrow G_4$.

El mediador empieza a construir el árbol, hay dos formas de lograr el objetivo G_1

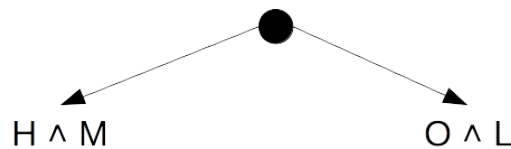


Fig. 5.2: Nivel 1

Luego, para lograr G_2 también existen dos alternativas: $I \wedge A$ o N .

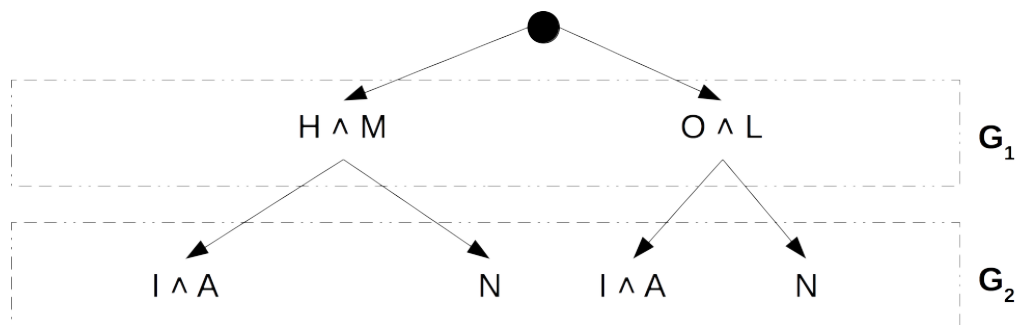


Fig. 5.3: Nivel 1 y 2

Ahora, lograr G_3 se puede con N o con $F \wedge L$. Sin embargo, estas dos soluciones no son compatibles en todas las ramas. En la rama 2, solo será compatible la solución $F \wedge L$ pues N ya se encuentra en el nodo de nivel 2. En la rama 3 solo la solución N será compatible ya que $F \wedge L$

no puede usarse porque L se encuentra en el nodo de nivel 1. Y en la rama 4, ninguna de las dos soluciones es compatible pues L se utiliza en el nodo de nivel 1 y N en el nodo de nivel 2.

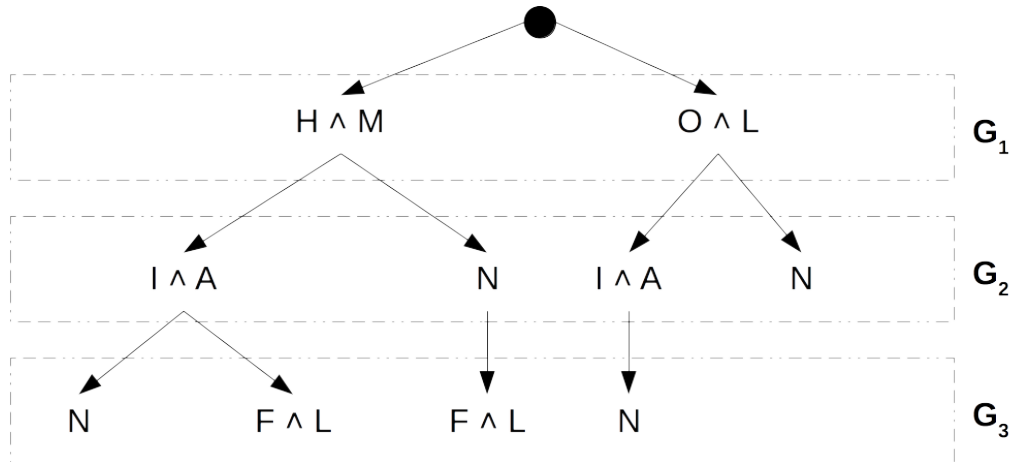


Fig. 5.4: Nivel 1, 2 y 3

Finalmente, se completa el cuarto y último nivel del árbol.

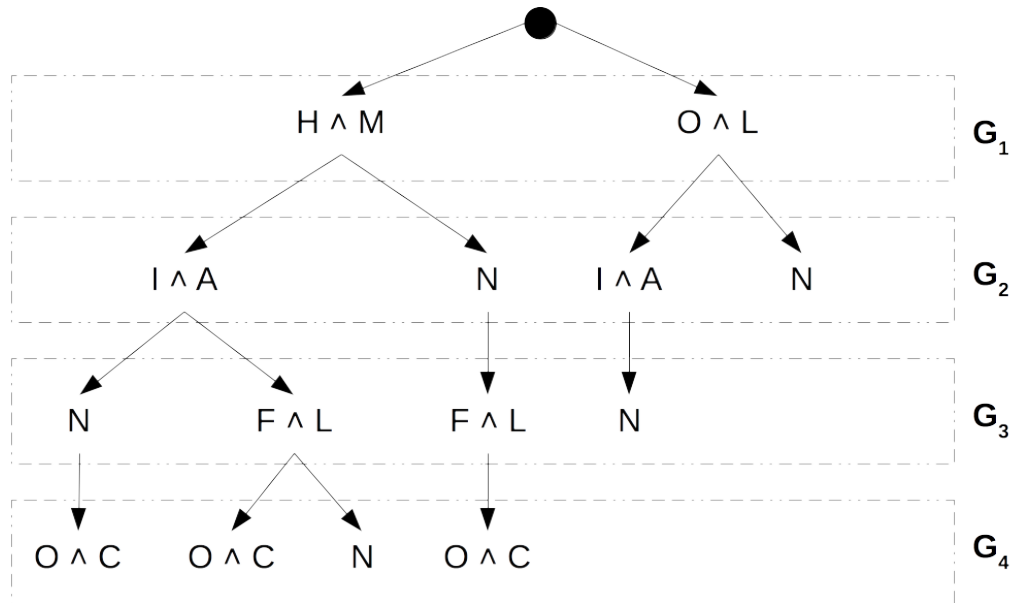


Fig. 5.5: Árbol completo

En conclusión, son cuatro las posibles soluciones globales:

1. $\{G_1 : H \wedge M, G_2 : I \wedge A, G_3 : N, G_4 : O \wedge C\}$
2. $\{G_1 : H \wedge M, G_2 : I \wedge A, G_3 : F \wedge L, G_4 : O \wedge C\}$
3. $\{G_1 : H \wedge M, G_2 : I \wedge A, G_3 : F \wedge L, G_4 : N\}$
4. $\{G_1 : H \wedge M, G_2 : N, G_3 : F \wedge L, G_4 : O \wedge C\}$

En caso de no poder obtener una solución global por no encontrar compatibilidad entre las soluciones individuales, el mediador puede enviar consultas ask a los agentes para adquirir nuevo conocimiento que le permita inferir nuevas soluciones individuales. Sin embargo, si el mediador sigue sin poder encontrar una solución global, entonces no podrá resolver el problema y fracasará la negociación.

Obtenidas las posibles soluciones globales, el mediador debe seleccionar una. Para ello utiliza las creencias que tiene sobre los agentes. Por ejemplo, la diferencia entre la solución 2 y la 3 es la solución individual que se le presenta a Ag_4 . En la solución 2, se le presenta el argumento de que $O \wedge C \Rightarrow G_4$ y en la solución 3, $N \Rightarrow G_4$. Si el mediador sabe que un agente ofreció entregar C y además cree que Ag_4 tiene O , quizás elija esta opción (la 2) en lugar de la número 3, si no sabe quien puede poseer N ni si estará dispuesto a entregarlo.

Para hacer este razonamiento, el mediador pondera las soluciones. Le pone un *puntaje* a cada nodo del árbol, luego elije el camino de mayor puntaje de la raíz a la hoja.

Para ponerle puntaje a un nodo, el mediador puntúa los recursos que componen el nodo y los promedia. La puntuación de los recursos depende de las creencias que tenga el mediador.

Definición 5.5. *Puntaje del recurso*

Sea r un recurso, que se encuentra en un nodo del nivel i , siendo éste el nivel correspondiente al objetivo G_i el cual debe alcanzar el agente Ag_i . El puntaje del recurso r sera:

- p_1 si $r \in BR_i$, siendo BR_i las creencias que tiene el mediador sobre los recursos que posee Ag_i .
- p_2 Si $r \in B_{oj}$ en el conjunto C_P para algún agente Ag_j .
- p_3 si $r \in BR_j$ con $j \neq i$ en conjunto C_B
- 0 si no sabe quien puede tenerlo.

Y se cumple que: $p_1 > p_2 > p_3 > 0$.

Esta definición nos muestra que el mediador puede puntuar el recurso con cuatro valores: p_1, p_2, p_3 , o 0. El mayor puntaje que puede tener un recurso (p_1), lo tendrá cuando el mediador crea que el agente que debe utilizarlo, ya lo tiene. Si el mediador cree que el agente que debe utilizar el recurso no lo tiene, lo puntuará con p_2 (el segundo valor más alto) si hay otro agente que propuso entregarlo en el intercambio.

Si el agente que debe utilizar el recurso no lo tiene y ningún otro agente propuso entregarlo, el mediador le solicitará el recurso a otro agente, si cree saber qué agente posee el recurso, lo puntuará con p_3 . Si no sabe quien puede tener el recurso lo puntuará con 0.

Se define el mecanismo de decisión del agente:

Definición 5.6. *El Mecanismo de decisión del mediador M es una tupla*

$D = \langle \text{ArmarArbol}, \text{Ponderar}, \text{GenProp} \rangle$ donde:

$\text{ArmarArbol} : S \rightarrow \text{Arbol}$

$\text{Ponderar} : \text{Arbol} \times S \rightarrow \text{Soluciones}$

$\text{GenProp} : \text{Soluciones} \rightarrow \text{Propuestas}$

La función *ArmArbol* se encarga de inferir las formas en las que puede ser alcanzado un objetivo y arma el árbol de compatibilidad, en este trabajo se define la función de acuerdo al Algoritmo 3.

Algoritmo 3: *armar_arbol*

Entrada: *CP*: Tabla que esquematiza el conjunto de propuestas

CB: Tabla que esquematiza el conjunto de creencias

KB: Base de conocimiento

Salida : *G*: Arbol

```

1 G ← buscar_objetivos(CP)           // busca todos los objetivos
2 Arbol ← nuevo_arbol()                // crea el arbol vacío
3 for g ∈ G do
4   I ← inferir(g, KB)              // busca todas las alternativas con las que se
   puede inferir g
5   for i ∈ I do
6     if se_puede_insertar(i, Arbol) then
7       // ¿es compatible i con las soluciones de la rama?
       Arbol.insertar(i, g)         // se inserta i en el nivel g
8 return Arbol

```

La función *Ponderar* pondera el árbol de acuerdo a las creencias del mediador y a los puntajes definidos en la def. 5.5. Seleccionada la mejor solución, *GenProp* también hace uso de las creencias del mediador para generar las propuestas, pues si el mediador cree que el recurso *r* lo tiene el agente *Ag₃*, será a ese agente a quien le pida *r*. Sin embargo, puede que haya recursos en la solución elegida sobre el cual el mediador no tenga creencias, en esos casos, el mediador opta aleatoriamente a qué agente solicitárselo.

El mediador puede tener creencias incorrectas, y estas creencias son usadas tanto para la generación de las propuestas como para ponderar las soluciones. Al recibir una crítica, el mediador actualiza sus creencias. Con las creencias actualizadas, las soluciones pueden ser ponderadas distinto y las propuestas deber armarse de acuerdo a las creencias actualizadas. En este trabajo esa revisión se hace en dos niveles:

El mediador, al recibir las críticas actualiza sus creencias y en primer término vuelve a armar las propuestas con *GenProp* y las envía a espera de las respuestas, el ciclo continúa. Cuando el mediador no puede armar nuevas propuestas, pasa al segundo nivel, y vuelve a ponderar el árbol, ya con sus creencias actualizadas.

Se describe con el siguiente Algoritmo 4 el proceso que realiza esta segunda versión del mediador.

Finalmente, el mediador queda definido:

Definición 5.7. *Mediador*

Un mediador *M* es un tupla $\langle S, D \rangle$, donde *S* representa su estado mental y *D* su mecanismo de decisión.

Algoritmo 4: Mediador

```

1  $P \leftarrow recibir\_propuestas()$ 
2  $CP \leftarrow armar\_tp(P)$  // arma la tabla que esquematiza el conjunto de
   propuestas
3  $CB \leftarrow actualiza\_tb(P)$  // actualiza la tabla que esquematiza el conjunto
   de creencias
4  $KB \leftarrow actualiza\_tb(P)$  // actualiza la base de conocimiento
5  $Arbol \leftarrow armar\_arbol(CP, CB, KB)$  // arma el árbol
6 while  $arbol\_no\_completo$  do
7    $consultar()$  // Si no hay ninguna solución compatible
   // consulta a los agentes por conocimiento con ask
8    $Arbol \leftarrow armar\_arbol(CP, CB, KB)$  // arma nuevamente el árbol
   // con nuevo conocimiento
9   if  $arbol\_simil\_anterior$  then
10    // Si no puede generar un nuevo árbol finaliza
    return  $sin\_acuerdo$  // la negociación sin acuerdo
11  $Solucion\_elegida \leftarrow ponderar(Arbol)$  // pondera el árbol
12 while  $True$  do
13    $p \leftarrow genera\_propuestas(Solucion\_elegida)$  // genera y envía las propuestas
14   if  $ya\_se\_realizo(p)$  then
15     // Si no se genero una nueva propuesta
     go to 8 // vuelve a ponderar el arbol con creencias actualizadas
16   if  $todos\_aceptan$  then
17      $confirmar()$ 
19     return  $acuerdo\_ok$  // finaliza la negociación con acuerdo
20   else
21      $P \leftarrow recibir\_contrapropuestas()$ 
22     if  $alguien\_se\_retiro$  then
23        $retirarse()$ 
24       return  $sin\_acuerdo$  // finaliza la negociación sin acuerdo
25      $CB \leftarrow actualizar\_cb(P)$  // actualiza las creencias

```

5.3. Conclusiones

En el Capítulo 4 se presentó una primera versión del agente especial llamado *mediador*, este se encargaba de recepcionar todas las propuestas de los agentes y encontrar una solución de intercambio de recursos para que todos los agentes reciban lo que solicitaron. Sin embargo, el mediador no participaba del proceso de inferencia. En este Capítulo se presenta una segunda versión de este agente al que se le incorpora un motor de inferencia para que pueda encontrar nuevas formas de alcanzar los objetivos. En este protocolo, el mediador resulta más participativo en el proceso de negociación. Esta modificación permite que encuentre solución a situaciones que el primer modelo no podía resolver, como la presentada en el ejemplo 5.1.

Se modifica el protocolo de negociación para permitir que dentro de una propuesta se argumente sobre la oferta y no sólo sobre la demanda, esto le permite al mediador transmitir conocimiento. Adicionalmente, se incorpora la posibilidad de que el mediador consulte a los agentes por conocimiento.

En ambos modelos de mediador se busca una solución que involucre a la totalidad de los agentes participantes de la negociación. Esto es así debido a que, como se mencionó anteriormente, todas las negociaciones bilaterales están interrelacionadas. Si un agente no acepta una propuesta y se retira, entonces el mediador no podrá conseguir los recursos que le solicitó. Sin esos recursos, fracasarán también las negociaciones en las que el mediador los ofrecía a cambio de otros. En conclusión, si una de las negociaciones falla, se genera una reacción en cadena que hace fracasar las otras negociaciones.

6.1. Simulaciones

En este trabajo se presentó un modelo de negociación multilateral basada en argumentación. El escenario sobre el que se presenta este modelo consiste en un sistema multiagente compuesto de agentes que negocian bilateralmente y un mediador que negocia simultáneamente con los agentes.

Se definieron dos versiones del agente mediador y para poder evaluar los modelos se realizaron una serie de simulaciones. El objetivo de las simulación fue evaluar en cuantos casos se logran negociaciones exitosas y realizar una comparación entre los dos modelos de mediador.

6.1.1. Escenarios de negociación

Para generar los escenarios de negociación en primer término se generan los agentes y se le asigna un objetivo a cada uno. Seguido se crean aleatoriamente *planes* de la forma $r_1 \wedge r_2 \wedge \dots \wedge r_n \Rightarrow Goal_i$, donde los símbolos r_j representan recursos. También se generan aleatoriamente planes en donde uno o un conjunto de objetivos implican otro objetivo, por ejemplo: $Goal_2 \wedge Goal_4 \Rightarrow Goal_7$. Posteriormente se distribuyen de forma aleatoria conocimiento y recursos entre los agentes. Se descartan los escenarios en donde alguno de los agentes puede lograr su objetivo sin negociar. Luego se crea al mediador y se le asignan creencias aleatoriamente. Queda conformado el escenario de negociación con agentes que no pueden cumplir su objetivo con los recursos que poseen y un mediador que tiene creencias posiblemente incorrectas sobre los agentes del entorno.

6.1.2. Implementación

Las simulaciones se implementaron¹ en el lenguaje de programación Python. Si bien no se implementaron los agentes como componentes completos, se simuló su mecanismo de decisión utilizando el algoritmo de resolución presentado en el libro *Artificial Intelligence: A Modern Approach* y su correspondiente librería² para Python.

¹ Se puede acceder al código de las simulaciones en github.com/gorremit/tesina

² <http://aima.cs.berkeley.edu/code.html>

Se implementaron los mediadores siguiendo los lineamientos presentados en los Capítulos 4 y 5. Para el motor de inferencia de la segunda versión del mediador se modificó el algoritmo de resolución presentado en [22] para poder obtener no sólo si una sentencia se podía derivar de una base de conocimiento sino también obtener las distintas alternativas en las que se podía derivar y en caso de no poder derivarse obtener qué cláusulas debían incorporarse a la base de conocimiento para derivar la sentencia. Para representar el conocimiento de los mediadores se utilizaron 3 conjuntos: creencias sobre los recursos que posee cada agente, creencias sobre los objetivos de cada agente y creencias sobre los recursos que no tiene cada agente.

6.2. Proceso y resultados

Se hicieron simulaciones variando la cantidad de agentes participantes de la negociación. Se limitó el “largo” de un plan a como máximo 3 recursos. El proceso de cada simulación consistió en primer lugar en generar los planes y los agentes, luego se distribuyó el conocimiento de forma aleatoria. Al crear al mediador se le asignó, también de forma aleatoria, conocimiento. Antes de iniciar la simulación se verificó si el escenario creado era válido como caso de prueba, es decir, si ningún agente podía lograr su objetivo sin necesidad de negociar para conseguir los recursos faltantes.

Una vez verificado que el escenario de negociación era un caso de prueba válido, se corría el motor de inferencia de los agentes para que determinen qué recursos les estaban faltando y se generaban las propuestas de los agentes. Para la generación de las propuestas de los agentes, se tuvo en cuenta en que cada agente solicite los recursos que les están faltando y que ofrezca, seleccionados de forma aleatoria, recursos que no le eran útiles para alcanzar su objetivo. Definidas estas propuestas, se iniciaba el mecanismo de decisión del mediador.

En primer lugar los mediadores actualizan sus creencias y luego corren su mecanismo de decisión. El primer modelo de mediador arma el grafo en base a las propuestas de los agentes y a su estado mental, y presenta sus propuestas a los agentes. Éstos ponen en marcha su motor de inferencia y determinan si la propuesta realizada por el mediador les es útil para cumplir su objetivo. Si todos los agentes aceptan las propuestas, se logra un acuerdo. En caso de que algún agente presente una crítica, el mediador actualiza sus creencias y vuelve a armar el grafo.

A medida que transcurre la negociación, el mediador va actualizando sus creencias y por ende empiezan a ser más certeras. Avanzados algunos ciclos de la negociación el mediador también empieza a conocer qué recursos no tiene cada agente, por lo tanto la generación del grafo empieza a reducir su componente aleatoria (línea 6 del algoritmo 1). Cuando el mediador tiene un alto nivel de conocimiento certero, pueden ocurrir dos cosas: la primera es que el mediador arme un grafo correcto que logre que todos los agentes acepten las propuestas, la segunda es que el mediador no pueda armar el grafo de forma completa por la existencia de nodos con grado de entrada cero, como consecuencia, no se logra un acuerdo y la simulación finaliza.

El modelo 1 de mediador sólo utiliza sus creencias para armar el grafo, entonces el ciclo del mediador 1 podemos pensarlo de forma resumida como se muestra en la Figura 6.1.

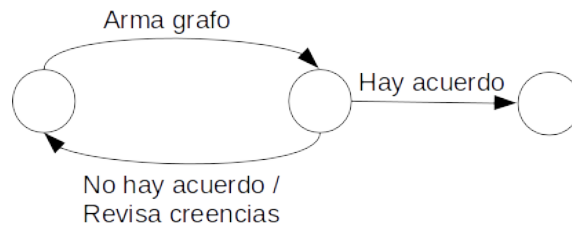


Fig. 6.1: Ciclo resumido Mediador 1

Con la segunda versión del mediador ocurre algo distinto. El modelo 2 del mediador utiliza conocimiento y creencias en dos etapas: cuando arma el árbol y pondera las soluciones y cuando arma las propuestas. Para no realizar todo el proceso de inferencia cada vez que se revisan las creencias, el ciclo del mediador 2 se divide en 3 etapas, como se ilustra en la Figura 6.2.

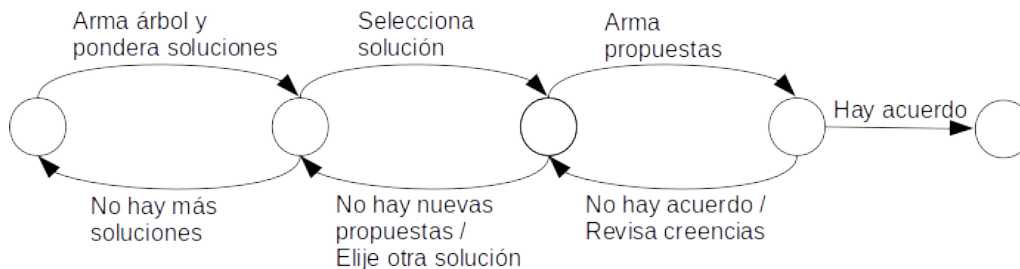


Fig. 6.2: Ciclo resumido Mediador 2

El mediador 2 en primer término arma el árbol para conseguir todas las posibles soluciones globales, si no consigue armar ninguna, puede pedir conocimiento a los agentes, pero si sigue sin poder generar alguna solución global entonces el mediador no puede resolver el problema y la negociación fracasa. Si el mediador logra generar soluciones globales, las pondera y elige la que considera más adecuada. En base a su conocimiento arma las propuestas y se las presenta a los agentes. Cuando algún agente presenta una crítica a su propuesta, revisa sus creencias e intenta generar nuevamente las propuestas de acuerdo a la nueva información. Si no consigue generar ninguna nueva propuesta, elige otra solución global y realiza el mismo proceso. Si luego de recorrer todas las soluciones globales no se logra el acuerdo, el mediador arma el árbol nuevamente pues es posible que durante la negociación haya adquirido nuevo conocimiento. Si no puede generar un árbol distinto al anterior, entonces no pudo generar nuevas soluciones globales, por lo que la negociación fracasa sin acuerdo.

Sobre la primera versión del mediador se realizaron simulaciones en un escenario de 3 agentes y con planes generados a partir de un conjunto de 20 recursos. Se realizaron 230 simulaciones obteniendo un porcentaje de acuerdos del 50.86 %. Aumentando la cantidad de agentes en el escenario de negociación a 5 agentes y generando los planes a partir de un conjunto de 30 recursos, se obtuvo acuerdo en el 24.78 % de los casos sobre un total de 230 simulaciones. Finalmente, agregando un agente más al escenario de negociación, sobre 260 simulaciones, el porcentaje de acuerdos alcanzados fue del 15 %.

Manteniendo la cantidad de 6 agentes en el escenario de negociación, se realizaron nuevas simulaciones aumentando el conjunto de recursos a partir del cual se generaban los planes. Sobre

260 simulaciones, generando los planes a partir de un conjunto de 40 recursos, se obtuvo un porcentaje de acuerdos del 18.84 % y generando los planes sobre un conjunto de 60 recursos, se logró un porcentaje de acuerdos del 29.61 %.

A partir de los resultados de las simulaciones sobre el primer modelo del mediador podemos observar que los resultados más bajos en la cantidad de acuerdos obtenidos se dan a mayor cantidad de agentes en el escenario de negociación y menor cantidad de recursos sobre los cuales se generan los planes. Intuitivamente se puede justificar este comportamiento debido a que son situaciones en donde es más sencillo que se presenten conflicto entre las solicitudes de los agentes.

Sobre el segundo modelo de mediador, los resultados arrojaron que sobre un total de 230 simulaciones con 3 agentes en el escenario de negociación, se logró acuerdo en el 86.95 % de los casos. Sobre 230 simulaciones con 5 agentes en el escenario, el porcentaje de acuerdos fue del 70.70 %. Y sobre 260 simulaciones con 6 agentes, se lograron acuerdos en el 56.15 % de los casos. En la figura 6.3 puede observarse una comparativa del porcentaje de acuerdos según los dos modelos de mediador en escenarios con 3, 5 y 6 agentes.

Adicionalmente se observó que con el segundo modelo de mediador, debido a la incorporación del motor de inferencia, el tiempo de resolución de cada problema aumenta considerablemente. Para realizar una comparación, se calculó el tiempo promedio de resolución de una tanda de 20 simulaciones resultando el tiempo promedio de resolución de 22 segundos. Mientras que sobre una tanda de 100 simulaciones sobre el primer modelo de mediador, el tiempo promedio de resolución fue de 1.54 segundos.

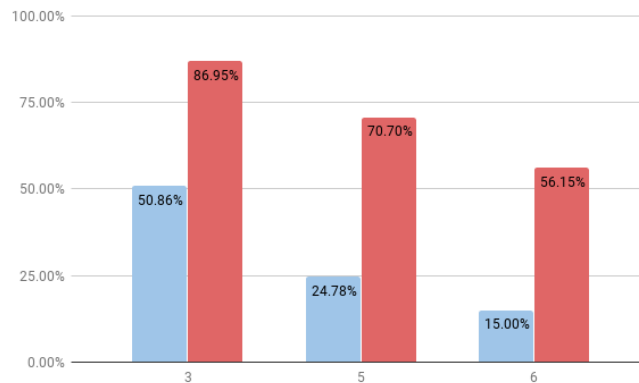


Fig. 6.3: Porcentaje de acuerdos en escenarios con 3, 5 y 6 agentes.

Los resultados demuestran que el segundo modelo de mediador, al incorporar un motor de inferencia y participar más activamente del proceso de negociación, resulta más útil a la hora de lograr acuerdos. Sin embargo el tiempo de resolución del problema aumenta considerablemente en comparación al primer modelo de mediador.

La negociación automática se presenta como una forma de interacción entre agentes autónomos con deseos de cooperar y alcanzar acuerdos, generalmente en presencia de conflictos, para poder cumplir sus objetivos o para aumentar sus utilidades. En las ciencias de la computación la negociación automática se suele estudiar desde distintos enfoques, basados en teoría de juegos, en heurística o basados en argumentación. La mayoría de los trabajos de negociación automática, y en particular los que se desarrollan en entornos multilaterales, están abordados desde el enfoque orientado a la teoría de juegos. Este trabajo hace un aporte a la negociación automática basada en argumentación en entornos multilaterales.

Para presentar este modelo de negociación multilateral se reutilizan modelos de agentes autónomos que negocian bilateralmente y se incorpora al sistema multiagente un agente especial denominado *mediador* que negocia simultáneamente con todos los agentes bilaterales.

Se definen dos modelos del agente mediador, el primero tiene una participación menos activa en el proceso de negociación ya que sólo recibe las propuestas y busca determinar, en base a sus creencias, cómo debe ser el intercambio de recursos para que todos los agentes reciban los recursos solicitados. A medida que transcurre la negociación, el mediador actualiza sus creencias con las nuevas piezas de información y de esa manera puede encontrar soluciones más certeras. El segundo modelo tiene una participación más activa en el proceso de negociación ya que incorpora un motor de inferencia que le permite hacer deducciones a partir de una base de conocimientos propia y encontrar nuevas formas con las que se pueden alcanzar los objetivos. Esta segunda versión también incorpora revisión de creencias para poder ir actualizando su base de conocimiento y sus creencias.

Se realizaron simulaciones para probar los modelos. Los resultados concluyeron que con el primer modelo de mediador se logra un acuerdo de manera rápida, pero en un porcentaje menor que con el segundo modelo de mediador, gracias al cual se aumentan considerablemente la cantidad de acuerdos. Sin embargo el proceso de inferencia que debe realizar este segundo modelo de mediador consume demasiados recursos computacionales y en ciertos escenarios encontrar una solución lleva demasiado tiempo.

En términos generales se puede concluir que incorporar un agente mediador a un sistema multiagente con agentes bilaterales resulta una opción viable para llevar a cabo negociaciones multilaterales. A partir de la incorporación del mediador, mientras mayor participación tenga éste en el

proceso de negociación y participando del proceso de inferencia se pueden alcanzar mayor cantidad de acuerdos.

7.0.1. Trabajos futuros

Pensando en extender el trabajo de esta tesina surgen distintas ramas de estudio. En primer término se podría pensar en un nuevo modelo de mediador que combine las dos versiones presentadas en este trabajo, para que en los escenarios más simples se pueda encontrar una solución con mayor celeridad sin recurrir al proceso de inferencia, y que este proceso se realice sólo en los escenarios más complejos. También se podrían mejorar los algoritmos de los mediadores a fin de consumir menos recursos computacionales. Por otro lado podría generarse un modelo más expresivo en donde se puedan representar características de los recursos o se pueda aumentar la cardinalidad de cada recurso.

En este trabajo se presupone que los agentes son veraces y benévolos. Otra línea de estudio puede ser que el mediador deba contemplar cierta reputación que acarreen los agentes, siendo algunos más honestos y otros menos. Tampoco contempla, este trabajo, la posibilidad de que haya argumentos que contradigan otros argumentos, por ejemplo dadas estas tres sentencias en una base de conocimiento: $A \Rightarrow G$, $A \Rightarrow R$, $R \Rightarrow \neg G$, ¿cuál/es resultan correctas?

Apéndice

Formalización de revisión de creencias

Dado \mathcal{L} un lenguaje finito con los conectivos lógicos clásicos y un operador de consecuencia definido de la siguiente manera:

Definición A.1. Operador de Consecuencia

Sean α y β elementos de \mathcal{L} ; K y K' subconjuntos de \mathcal{L} . Un Operador de Consecuencia de \mathcal{L} es una función $Cn : 2^{\mathcal{L}} \rightarrow 2^{\mathcal{L}}$ que cumple con:

- $K \subseteq Cn(K)$
- Si $K \subset K'$ entonces $Cn(K) \subset Cn(K')$
- $Cn(K) = Cn(Cn(K))$
- Si α se deriva de K por consecuencia clásica entonces $\alpha \in Cn(K)$
- $\beta \in Cn(K \cup \alpha)$ si y solo si $(\alpha \rightarrow \beta) \in Cn(K)$
- Si $\alpha \in Cn(K)$ entonces $\alpha \in Cn(K')$ para algún subconjunto finito $K' \subseteq K$

Se dice que un conjunto K es lógicamente cerrado si $K = Cn(K)$ y usualmente se lo escribe con letra negrita (\mathbf{K}) y $K \vdash \alpha$ si y solo si $\alpha \in Cn(K)$.

Siendo \mathbf{K} el conjunto que representa las creencias del agente, el modelo AGM introduce tres operaciones de revisión de creencias:

- *Expansión (+)*: Expandir \mathbf{K} por una sentencia α da como resultado un conjunto del cual se infiere α . Es decir, incorpora una nueva creencia sin garantizar consistencia en el estado resultante.
- *Contracción (\div)*: Contraer \mathbf{K} por una sentencia α da como resultado un conjunto del cual no se infiere α . Por lo tanto, elimina una creencia del estado y también todas las creencias que permitan su inferencia.

- *Revisión*: Revisar \mathbf{K} por una sentencia α da como resultado un conjunto del cual se infiere α y no se infiere $\neg\alpha$. Incorpora una creencia al estado garantizando consistencia.

En base a estas operaciones, se presentan los siguientes postulados básicos:

Postulados para la contracción son:

- *Clausura*: $\mathbf{K} \div \alpha = Cn(\mathbf{K} \div \alpha)$
- *Inclusión*: $\mathbf{K} \div \alpha \subseteq \mathbf{K}$
- *Éxito*: Si $\alpha \notin Cn(\emptyset)$ entonces $\alpha \notin Cn(\mathbf{K} \div \alpha)$
- *Vacuidad*: Si $\alpha \notin \mathbf{K}$ entonces $\mathbf{K} \div \alpha = \mathbf{K}$
- *Recuperación*: $\mathbf{K} \subseteq (\mathbf{K} \div \alpha) + \alpha$
- *Extensionalidad*: Si $Cn(\alpha) = Cn(\beta)$ entonces $\mathbf{K} \div \alpha = \mathbf{K} \div \beta$

El primero de los postulados, busca asegurar que el resultado de una contracción mantenga las propiedades del modelo. El postulado de inclusión nos dice que al eliminar alguna creencia, no se incorpora ninguna creencia nueva. El postulado de éxito representa el efectivo abandono de la sentencia contraída, las únicas formulas imposibles de contraer son las tautologías. Vacuidad, si una sentencia no forma parte del conjunto de creencias, no se puede eliminar. El postulado de Recuperación nos dice que el conjunto de creencias puede ser recuperado si se expande por la misma sentencia contraída. El último de los postulados, de extensionalidad, representa que la operación de contracción debe estar guiada por el significado de la fórmula, no por su representación sintáctica.

El operador de revisión de creencias, para un conjunto de creencias \mathbf{K} por una sentencia α , puede representarse como una contracción respecto a $\neg\alpha$ y luego una expansión por α . Escribimos la revisión como $\mathbf{K} * \alpha$, quedando definida:

$$\mathbf{K} * \alpha = (\mathbf{K} \div \neg\alpha) + \alpha$$

Es necesario entonces, definir un operador de contracción. Para ello se plantean las siguientes definiciones.

Definición A.2. *Choice Kernel Set*

Sea \mathcal{L} un lenguaje lógico, Cn el operador de consecuencia, $R, G \subseteq \mathcal{L}$. Luego $R \perp\!\!\!\perp G$ es el conjunto de todos los $X \subseteq R$ tal que:

1. $G \subseteq Cn(X)$
2. Si $Y \subset X$ entonces $G \not\subseteq Cn(Y)$

El conjunto $R \perp\!\!\!\perp G$ es llamado Choice kernel Set y sus elementos se denominan G -kernels de R . Siendo el G -kernel de R un conjunto minimal de creencias con las cuales se puede inferir G , por lo tanto, eliminar de R un elemento de cada G -kernel impide derivar G .

Definición A.3. *Función incisión*

Una función σ es una función incisión para R si y solo si satisface para todo G :

1. $\sigma(R \perp G) \subseteq \cup(R \perp G)$
2. Si $\emptyset \neq X \in R \perp G$, entonces $X \cap \sigma(R \perp G) \neq \emptyset$

La función incisión es la función que selecciona los elementos que se eliminarán, hace una *incisión* en cada G -kernel de R .

Definición A.4. *Multiple choice contractión*

Sea σ una función de incisión para R y $G \in \mathcal{L}$. La *multiple choice contraction* \approx para R se define como:

$$R \approx G =_{def} R - \sigma(R \perp G)$$

El operador *Multiple choice contractión*, permite eliminar los elementos seleccionados por una función incisión. Finalmente, podemos definir:

Definición A.5. *Operador de revisión*

Sea σ un operador *Multiple choice contractión*. Dado un conjunto de sentencias R , se define para cualquier conjunto G el operador de revisión $*$: $R * G = (R \approx \neg G) \cup G$

Algoritmo de resolución

Para presentar el algoritmo de resolución se introducen los siguientes conceptos:

- **Validez:** Una sentencia es válida si es verdadera en todos los modelos. Por ejemplo, la sentencia $P \vee \neg P$ es una sentencia válida.
- **Teorema de la deducción:** Para cualquier sentencia α y β , $\alpha \vdash \beta$ si y solo si la sentencia $(\alpha \Rightarrow \beta)$ es válida.
- **Satisfacibilidad:** Una sentencia es satisfactoria si es verdadera para algún modelo.

En base a los conceptos anteriores, se puede ver que: α es válida si y solo si $\neg\alpha$ es insatisfacible. O en contraposición: α es satisfacible si y solo si $\neg\alpha$ no es válida.

En consecuencia, podemos determinar que $BC \vdash \alpha$ si y solo si $(BC \wedge \neg\alpha)$ es insatisfactoria. Demostrar que α se infiere de BC a partir de averiguar la insatisfacibilidad de $(BC \wedge \neg\alpha)$ es lo que se conoce como **demostración por contradicción**.

Para demostrar que $(BC \wedge \neg\alpha)$ es insatisfacible, el algoritmo de resolución presentado en [22] en primer término convierte $(BC \wedge \neg\alpha)$ a la Forma Normal Conjuntiva (**FNC**). Una sentencia está en **FNC** si es una conjunción de disyunciones de literales. Por ejemplo:

$$(\ell_{1,1} \vee \dots \vee \ell_{1,r}) \wedge \dots \wedge (\ell_{n,1} \vee \dots \vee \ell_{n,k})$$

Llevar la sentencia a **FNC** permite poder aplicar la regla de resolución. La regla de resolución es una regla de inferencia sencilla que permite hacer deducciones a partir de literales complementario. Por ejemplo: Si hay una conjunción de dos cláusulas:

1. José tiene un auto o José tiene una moto.
2. José no tiene una moto.

Entonces podemos deducir que José tiene un auto.

Formalmente, la regla de **resolución unitaria**:

$$\frac{\ell_1 \vee \dots \vee \ell_k, \quad m}{\ell_1 \vee \dots \vee \ell_{i-1} \vee \ell_{i+1} \vee \dots \vee \ell_k}$$

donde cada ℓ es un literal y ℓ_i y m son literales complementarios.

Generalizando, la regla general de **resolución**,

$$\frac{\ell_1 \vee \dots \vee \ell_k, \quad m_1 \vee \dots \vee m_n}{\ell_1 \vee \dots \vee \ell_{i-1} \vee \ell_{i+1} \vee \dots \vee \ell_k \vee m_1 \vee \dots \vee m_{j-1} \vee m_{j+1} \vee \dots \vee m_n}$$

donde ℓ_i y m_j son literales complementarios.

La resolución toma dos cláusulas y genera una cláusula nueva con los literales de las dos cláusulas originales menos los literales complementarios. Por ejemplo:

$$\frac{\ell_1 \vee \ell_2, \quad \neg \ell_2 \vee \ell_3}{\ell_1 \vee \ell_3}$$

Volviendo al algoritmo de resolución, una vez obtenidas las cláusulas convirtiendo $(BC \wedge \neg \alpha)$ a **FNC**, aplica la regla de resolución a cada par de cláusulas y agrega las nuevas cláusulas al conjunto. El proceso continúa hasta que:

- No hay nuevas cláusulas que se puedan añadir al conjunto, en ese caso BC no implica α .
- Se deriva la cláusula vacía de una aplicación de la regla de resolución, en cuyo caso BC implica α

Que se derive la cláusula vacía, representa una contradicción, pues se presenta solo si se resuelven dos cláusulas unitarias complementarias, como P y $\neg P$.

En la figura B.1 se ejemplifica gráficamente la aplicación del algoritmo de resolución.

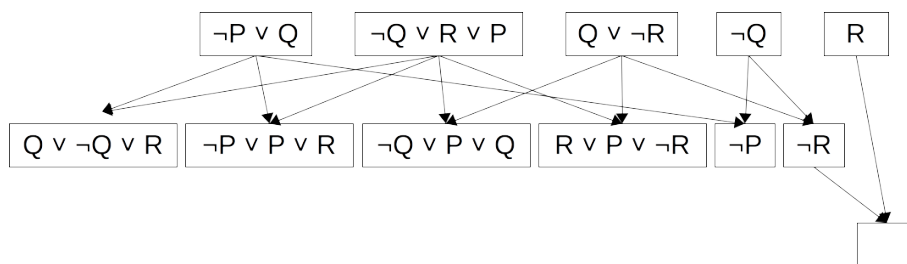


Fig. B.1: Aplicación parcial del algoritmo de resolución.

Bibliografía

- [1] M. WOOLDRIDGE *Agent-Based Software Engineering* Mitsubishi Electric Digital Library Group, United Kingdom, 1997
- [2] DOUGLAS N. WALTON, *Types of Dialogue, Dialectical Shifts and Fallacies*. *Argumentation Illuminated*, ed. Frans H. van Eemeren et al., Amsterdam, SICSAT, 1992, 133-147.
- [3] N. R. JENNINGS, P. FARATIN, A. R. LOMUSCIO, S. PARSONS, C. SIERRA, AND M. WOOLDRIDGE. *Automated negotiation: Prospects, methods and challenges* International Journal of Group Decision and Negotiation, 10 (2):199–215, 2001.
- [4] A. RUBINSTEIN *Perfect equilibrium in a bargaining model* *Econometrica* 50, 97—109, 1982.
- [5] A.FABREGUES, C. SIERRA *An Agent Architecture for Simultaneous Bilateral Negotiations* Proc. of the 13è Congrès Int. de l'Associació Catalana d'Intel·ligència Artificial, 29-38, 2010.
- [6] R. BEHESHTI, N. MOZAYANI *A New Mechanism for Negotiations in Multi-Agent Systems Based on ARTMAP Artificial Neural Network* J. O'Shea et al. (Eds.): KES-AMSTA 2011, LNAI 6682, pp. 311–320, 2011.
- [7] P. FARATIN, C. SIERRA, N. R. JENNING *Negotiation decision functions for autonomous agents* Robotics and Autonomous Systems, Volume 24, Issues 3–4, 159-182, 1998
- [8] S. CHAE, J. YANG *An n-person pure bargaining game* Journal of economics Theory, 62:86–102, 1994
- [9] V. KRISHNA, R. SERRANO *Multilateral bargaining* Review of Economic Studies, 63: 61–80, 1996
- [10] V. KRISHNA *Auction Theory* Academic Press: London, 2002
- [11] P. MILGROM, R. WEBER *The theory of auctions and competitive bidding* The Economic Theory of Auctions, 181–245, 2000
- [12] R. G. SMITH *A Framework for Distributed Problem Solving* UMI Research Press: Ann Arbor, MI, 1980
- [13] R. G. SMITH, R. DAVIS *Negotiation as a metaphor for distributed problem solving* Artificial Intelligence, 20, 63–109, 1983

- [14] M. Andersson, T. Sandholm *Leveled commitment contracting among myopic individually rational agents* In Proceedings of the Third International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS-98), Paris, France, 26–33, 1998
- [15] S. FATIMA, S. KRAUS, M. WOOLDRIDGE. *Principles of Automated Negotiation*. Cambridge University Press, 2014.
- [16] I. RAHWAN, S. D. RAMCHURN, N. R. JENNINGS, P. MCBURNEY, S. PARSONS, L. SONENBERG *Argumentation-based negotiation*. The Knowledge Engineering Review, Cambridge University Press, Vol 18:4, 343-375, 2004.
- [17] P. PILOTTI, A. CASALI, C. CHESÑEVAR *A belief revision approach for argumentation-base negotiation agents* In 9th International Workshop on Argumentation in Multi-Agent Systems (ArgMAS 2012), Valencia, Spain, 2012.
- [18] S. PARSONS, C. SIERRA, N. R. JENNINGS *Agents that Reason and Negotiate by Arguing* Journal of Logic and Computation, Vol 8, 261–292, 2008
- [19] C. ALCHOURRÓN, P. GÄRDENFORS, D. MAKINSON *On the logic of theory change: partial meet contraction and revision functions* Journal of Symbolic Logic, 50:510-530, 1985.
- [20] M. A. FALAPPA, G. KERN-ISBERNER, G. R. SIMARI *Belief Revision and Argumentation Theory*, Argumentation in Artificial Intelligence, Springer US, 341–360, 2009.
- [21] P. PILOTTI, A. CASALI, C. CHESÑEVAR *Incorporating Object Features in Collaborative Argumentation-Based Negotiation Agents* Proceedings of the The Encontro Nacional de Inteligência Artificial e Computacional (ENIAC), São Carlos, SP, Brazil. 2014
- [22] S. J. RUSSELL, P. NORVING *Artificial Intelligence: A Modern Approach* Prentice Hall, 2009 (3er Ed.)