

Formalización del Diálogo en Sistemas Multi-Agente

M. Julieta Marcos Marcelo A. Falappa Guillermo R. Simari
mjm@cs.uns.edu.ar mfalappa@cs.uns.edu.ar grs@cs.uns.edu.ar

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Artificial (LIDIA)
Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación (DCIC)
Universidad Nacional del Sur (UNS)

1. Introducción

Esta línea de investigación estudia la formalización del diálogo en Sistemas Multi-Agente (SMAs). Los agentes en un SMA necesitan comunicarse, por diferentes motivos: resolver diferencias de opinión o intereses en conflicto, cooperar para resolver dilemas o encontrar pruebas, o simplemente informarse uno a otro sobre hechos pertinentes. En muchos casos no alcanza con intercambiar mensajes aislados, sino que los agentes necesitan entablar diálogos (secuencias de mensajes sobre el mismo tema) [7]. Existe gran variedad de diálogos, con características diferentes. Algunos, que han cobrado interés, son los siguientes [9]:

Diálogo de Búsqueda de Información. Un agente busca la respuesta a una pregunta en el conocimiento de otro agente. Se supone que este último conoce la respuesta.

Diálogo de Investigación. Todos los agentes colaboran para encontrar la respuesta a una pregunta. Se supone que ninguno de ellos conoce la respuesta.

Diálogo Persuasivo. Un agente trata de convencer a otro para que se adhiera a cierta creencia o punto de vista.

Negociación. Los agentes tratan de llegar a un acuerdo aceptable sobre la división de recursos escasos. Cada uno trata de maximizar su ganancia.

Diálogo Deliberativo. Los agentes colaboran para decidir qué acción realizar en cierta situación.

Nuestro objetivo es encontrar modelos formales para estas interacciones, y estudiar sus propiedades. Damos por sentado que los agentes tienen una capacidad de razonamiento, y que ésta es utilizada en el diálogo. En [6] presentamos un modelo teórico de diálogo e investigamos su aplicabilidad en *diálogos sobre creencias* (diálogos en los cuales los participantes hablan sobre la verdad de cierta proposición). A esta categoría corresponden la *Búsqueda de Información*, la *Investigación* y el *Diálogo Persuasivo*.

Actualmente estamos investigando su aplicabilidad en otra clase de diálogos, que no son sobre creencias, como por ejemplo la *Negociación*. Este artículo está estructurado de la siguiente manera: en la sección 2 repasamos conceptos básicos de la Teoría de Cambio de Creencias, que serán utilizados en las secciones siguientes. En la sección 3 describimos brevemente el modelo de

diálogo propuesto en [6]. En la sección 4 exploramos la posibilidad de aplicar dicho modelo en Negociación. Finalmente, en la sección 5, citamos algunos trabajos relacionados, y delineamos las direcciones futuras de nuestra investigación.

2. Teoría de Cambio de Creencias

La Teoría de Cambio de Creencias estudia la dinámica del conocimiento, esto es, la forma en que se actualiza el conocimiento de un agente después de que recibe información nueva. Un *estado epistémico* es una representación del conocimiento de un agente en un momento del tiempo. Existen, principalmente, dos alternativas para representar estados epistémicos: *conjuntos de conocimiento* [1] o *bases de conocimiento* [3]. Los primeros son conjuntos clausurados bajo algún operador de consecuencia lógica. Los segundos son conjuntos no clausurados, y son los que utilizaremos en este trabajo. Una *actitud epistémica* describe el estado de varios elementos del conocimiento que están contenidos en un estado epistémico. Una *entrada epistémica* es una pieza de información externa que puede producir cambios en un estado epistémico. Las *operaciones de cambio epistémico* que utilizaremos en este trabajo son: *expansión* [1] notada con “+” y *consolidación* [5] notada con “!”. El significado intuitivo de cada una de ellas es el siguiente: en una *expansión* se incorpora conocimiento sin importar si el estado resultante es consistente. En una *consolidación* se eliminan inconsistencias de un estado de conocimiento.

La *expansión* es la operación más simple. Cuando el estado epistémico se representa con bases, una expansión consiste en una simple unión de conjuntos. Si K es una base de creencias y α una entrada epistémica, entonces la expansión se define como $K + \alpha = K \cup \{\alpha\}$ [3]. La *consolidación* es, en realidad, un caso particular de otra operación: la *contracción* [1]. La operación de contracción elimina una creencia de un estado de conocimiento. En una consolidación la creencia a eliminar es \perp (la contradicción). Entre varios tipos de contracciones, nos enfocaremos en: *Partial Meet Contraction* [1] y *Kernel Contraction* [4]. En base a éstas se definen dos formas de consolidación [5]: *Partial Meet Consolidation* y *Kernel Consolidation*. Por cuestiones de espacio, remitimos al lector a la bibliografía citada para obtener más información sobre la construcción de estos operadores.

Existen algunas propiedades intuitivas que deberían ser satisfechas por un operador de consolidación [5]: la propiedad de *inclusión* establece que, para toda base K , debe ser $K! \subseteq K$. La propiedad de *consistencia* establece que $K!$ debe ser consistente. Las propiedades de *relevancia* y *retención de núcleo* buscan captar la noción de no eliminar de más, es decir, no eliminar creencias que no contribuyen a que la base sea inconsistente. Luego, pueden definirse las operaciones de consolidación *partial meet* y *kernel* en función de las propiedades anteriores [5]: $!$ es un operador de *partial meet (kernel) consolidation* si y solo si, para toda base K , $!$ satisface *inclusión*, *consistencia* y *relevancia (retención de núcleo)*. La propiedad de *relevancia* implica la propiedad de *retención de núcleo*. Por esta razón, todo operador de *partial meet consolidation* es también un operador de *kernel consolidation*. La relación inversa no es cierta.

3. Un Modelo Teórico y Abstracto de Diálogo

En esta sección describiremos brevemente el formalismo presentado en [6]. Asumimos que los agentes cuentan con una *teoría* y un *modelo de razonamiento*. Éstos no se especifican en el modelo abstracto, ya que dependen del tipo particular de diálogo que se quiera modelar (se verá un ejemplo para Negociación en la sección 4). Las secciones 3.1 y 3.2 describen, respectivamente, cómo evoluciona el conocimiento involucrado en el diálogo y cuál es el protocolo que

siguen los agentes para interactuar.

3.1. Evolución del Conocimiento

El modelo asume la existencia de un *almacenamiento público de información* (*public information store*), ps , compartido por todos los agentes. El contenido de ps evoluciona a medida que los agentes interactúan; y éstos lo utilizan, junto con sus teorías privadas, para razonar. Las teorías privadas no son modificadas durante el diálogo, pero podrían serlo, al finalizar el mismo, utilizando el almacenamiento público. La evolución de éste último se modela de manera abstracta, mediante un *operador de expansión* (“+”). Como consecuencia, su contenido podría ser inconsistente. Consideraremos un subconjunto consistente de ps (notado cps) que resulta de aplicar al mismo un *operador de consolidación kernel* (“!”).

El par $s = \langle ps, cps \rangle$ representa el *estado* del diálogo. Asumimos que el estado inicial, antes de comenzar el diálogo, es $s_0 = \langle \emptyset, \emptyset \rangle$. Como se verá en el subsección siguiente, los agentes realizan *movimientos*, los cuales consisten en publicar subconjuntos de sus teorías privadas. Cuando un agente publica un subconjunto x de su teoría, el estado del diálogo evoluciona de la siguiente manera: 1) $ps \leftarrow ps + x$ 2) $cps \leftarrow ps !$. Dados un estado $s_i = \langle ps_i, cps_i \rangle$ y un subconjunto x , la función $evol(s_i, x)$ retorna un nuevo estado $s_{i+1} = \langle ps_{i+1}, cps_{i+1} \rangle$ computado como se muestra arriba (pasos 1) y 2)). También usamos la notación $evol(cps_i, x)$ para referirnos a cps_{i+1} .

3.2. Protocolo de Diálogo

Como se mencionó en la subsección anterior, el protocolo de diálogo está basado en la noción de movimiento. Un *movimiento* es un par $m_i = \langle p_i, x_i \rangle$ tal que: p_i identifica al agente que realiza el movimiento, y x_i es un subconjunto no vacío de la teoría privada del agente p_i . Mediante estos movimientos, los agentes publican parte de sus teorías privadas, provocando una evolución (tal como se definió en la sección 3.1) del estado del diálogo.

Para que el protocolo sea genérico (aplicable a diferentes tipos de diálogo), es necesario parametrizarlo de alguna manera. Con el objetivo de obtener dicha generalidad, asumimos que cada agente que participa del diálogo tiene una *meta* en el mismo. Una meta, en este trabajo, es una función booleana que utiliza el estado del diálogo, la teoría privada del agente, el modelo de razonamiento, y la función de evolución, para decidir si el objetivo del agente en el diálogo es alcanzado o no (es decir, para decidir si el agente desearía terminar el diálogo en el estado actual o no). Estas metas deben definirse de manera adecuada para obtener protocolos concretos para tipos particulares de diálogo. En [6] se definieron metas para diálogos de Investigación y Persuasivos. En la sección 4 se analizarán metas para modelar diálogos de Negociación.

Las metas guían a los agentes al momento de elegir qué información publicar (tratarán de publicar sólo la información relevante para el cumplimiento de sus metas). Decimos que $m_i = \langle p_i, x_i \rangle$ es un *movimiento relevante minimal* en un estado s si y sólo si se cumplen las condiciones siguientes: (*Relevancia*) la meta del agente p_i se cumple en $evol(s, x_i)$, y (*Minimalidad*) no existe un subconjunto propio de x_i que satisfaga la primer condición. Luego se define el *diálogo* como una secuencia $m_1 \dots m_k$ de movimientos, posiblemente vacía, tal que:

1. m_1 es un movimiento relevante minimal en s_0 .
2. Para todo $1 < i \leq k$, m_i es un movimiento relevante minimal en $evol(s_0, \bigcup_{1 \leq l < i} x_l)$.
3. No existen movimientos relevantes minimales en $evol(s_0, \bigcup_{1 \leq i \leq k} x_i)$.

El resultado del diálogo es el último conjunto *cps* generado, a partir del cual los agentes pueden razonar y obtener soluciones específicas para cada tipo de diálogo, como se verá en la sección 4. El protocolo asegura que el mismo agente no puede realizar dos movimientos seguidos. En el caso de diálogos entre dos agentes, esto implica que los mismos se turnan para realizar movimientos. El protocolo también asegura que no existen movimientos repetidos en la secuencia. Además, es fácil ver que los diálogos generados bajo este protocolo siempre terminan (en el peor caso, los agentes publican todo su conocimiento privado, alcanzando un estado en el cual no hay movimientos relevantes minimales posibles).

4. Hacia Un Modelo de Negociación

Actualmente estamos analizando la posibilidad de modelar diálogos de Negociación a partir del modelo abstracto resumido en la sección 3. Basándonos en el trabajo realizado en [2], utilizamos la siguiente versión simplificada del problema de negociación: “Una negociación tiene lugar entre n agentes, en torno a un conjunto O (fijo y compartido) de ofertas (cuya estructura no se conoce). El objetivo de la negociación es encontrar, entre los elementos de O , una oferta que satisfaga más o menos las preferencias de todos los agentes”. Para obtener un modelo de negociación, es necesario definir el modelo de razonamiento y las metas de los agentes negociadores.

Supongamos que los agentes razonan sobre el status de las ofertas del conjunto O . El resultado del razonamiento es una partición de O en n clases disjuntas. Sean $O_1 \dots O_k \dots O_n$ las clases de ofertas en orden decreciente de preferencia. Las clases $O_1 \dots O_k$ se consideran *aceptables* (pueden ser solución). Las clases $O_{k+1} \dots O_n$ se consideran *rechazadas* (no pueden ser solución). Este modelo está basado en el modelo de razonamiento definido en [2], sólo que nosotros no especificamos cómo es el proceso de razonamiento (ellos utilizan un sistema argumentativo abstracto), ni cuáles son los posibles estados de las ofertas (ellos definen cuatro estados: *aceptada*, *negociable*, *no-soportada*, y *rechazada*). Asumamos también un orden arbitrario sobre el conjunto O de ofertas (un orden lexicográfico, por ejemplo), de manera que el resultado de la negociación sea la primer oferta de la primer clase aceptable no vacía (la “mejor” clase) de la partición inferida a partir del último *cps*. Si dicha clase no existe, entonces la negociación falla.

Ahora vamos a definir las metas de los agentes negociadores. Llamemos ρ_{cps} a la partición de ofertas inferida a partir de *cps*; ρ_i a la partición inferida a partir de *evolva(cps, K_i)*, donde K_i es la teoría privada del agente p_i ; c_ρ a la “mejor” clase de la partición ρ ; y finalmente o_{csp} a la primer oferta de $c_{\rho_{cps}}$. Luego, asumiendo que el objetivo de la negociación es encontrar una oferta que esté entre las mejores opciones de cada agente, podemos definir la meta de cada uno de ellos como: $o_{csp} \in c_{\rho_i}$.

5. Trabajo Relacionado y Trabajo Futuro

Se han realizado varios trabajos con el objetivo de modelar formalmente las interacciones entre agentes. Sin embargo, las soluciones propuestas son *ad hoc* y carecen de una fundamentación teórica sólida. En [8], por ejemplo, se investiga un tipo particular de diálogo: la *negociación basada en argumentación*, identificando y describiendo elementos necesarios para su modelamiento (tanto internos como externos a los agentes). En [7], por otro lado, se concentran en *diálogos de investigación*, de *búsqueda de información* y *persuasivos*. Definen un conjunto de *locuciones* para que los agentes puedan intercambiar argumentos, un conjunto de *actitudes* que marcan una relación entre los argumentos que puede construir un agente y las locuciones que puede

realizar (intuitivamente, los agentes “menos atrevidos” sólo afirman proposiciones soportadas por “buenos argumentos”), y definen también un conjunto de *protocolos* para llevar a cabo los diálogos. En [2] definen un framework abstracto para *negociación basada en argumentación* entre dos agentes, asumiendo un conjunto fijo y compartido de ofertas, en torno al cual se desarrolla el diálogo. Los agentes cuentan con una teoría y un modelo de razonamiento para computar un orden de preferencia entre las ofertas. La teoría y el modelo de razonamiento corresponden a un sistema argumentativo abstracto. El protocolo de diálogo permite a los agentes intercambiar ofertas, argumentos y contra-argumentos. Las teorías de los agentes evolucionan debido al intercambio de argumentos. La negociación termina con éxito cuando uno de ellos presenta una oferta ya presentada previamente por el otro agente.

En este trabajo repasamos un modelo teórico y abstracto de diálogo presentado en un trabajo anterior, con las siguientes características principales: (1) guiado por *metas*, (2) basado en *operaciones de cambio*, (3) abstracto en cuanto al *tipo de diálogo* (investigación, negociación, etc.), y (4) abstracto en cuanto al *modelo de razonamiento* utilizado por los agentes. Además, exploramos la posibilidad de modelar, con este formalismo, diálogos de Negociación. Nuestro trabajo futuro estará orientado a: investigar propiedades de los diálogos modelados con este formalismo, investigar la relación entre este modelo de diálogo (*basado en operadores de cambio*) y los modelos *basados en argumentación* [8] (como por ejemplo los definidos en [2] y [7]), y por último abordar el problema de la Negociación desde una perspectiva más general (entre otras cosas, sin la suposición de un conjunto fijo y compartido de ofertas).

Referencias

- [1] C. Alchourrón, P. Gärdenfors, and D. Makinson. *On the Logic of Theory Change: Partial Meet Contraction and Revision Functions*. *The Journal of Symbolic Logic*, 50:510-530, 1985.
- [2] Leila Amgoud, Yannis Dimopoulos, and Pavlos Moraitis. *A Unified and General Framework for Argumentation Based Negotiation*. In *6th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agents Systems, AAMAS'2007, Honolulu, Hawaii, 14 - 18 May 2007*.
- [3] S. O. Hansson. *Belief Base Dynamics*. PhD thesis, Uppsala University, Department of Philosophy, Uppsala, Sweden, 1991.
- [4] S. O. Hansson. *Kernel Contraction*. *The Journal of Symbolic Logic*, 59:845-859, 1994.
- [5] S. O. Hansson. *Semi-Revision*. *Journal of Applied Non-Classical Logic*, 7:151-175, 1997.
- [6] Marcos M. Julieta, Falappa Marcelo A., Simari Guillermo R.. *Un Modelo Abstracto de Diálogo Sobre Creencias para Sistemas Multiagente*. *Actas del XIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2007)*. Págs. 1371-1382.
- [7] S. Parsons, M. Wooldridge, and L. Amgoud. *Properties and Complexity of Some Formal Inter-agent Dialogues*. *Journal of Logic and Computation*, 13:347-376, 2003.
- [8] I. Rahwan, S. D. Ramchurn, N. R. Jennings, P. McBurney, S. Parsons, and L. Sonenberg. *Argumentation-based negotiation*. *The Knowledge Engineering Review*, 18:343-375, 2003.
- [9] D. N. Walton and E. C. W. Krabbe. *Commitment in Dialogue: Basic Concepts of Interpersonal Reasoning*. State University of New York Press, Albany, NY, 1995.