

Integración de Modelos de Razonamiento Práctico, Tecnologías de Acuerdo y Aprendizaje

Cecilia Sosa Toranzo, Marcelo Errecalde, Edgardo Ferretti

Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Computacional
Departamento de Informática, Universidad Nacional de San Luis
Ejército de los Andes 950 - (D5700HHW) San Luis - Argentina
e-mails: {csosatoranzo, merreca, ferretti}@unsl.edu.ar

Resumen

Este artículo describe, en forma breve, los trabajos de investigación y desarrollo que se están llevando a cabo en la línea de investigación “Agentes Inteligentes” en la problemática vinculada a la integración de tecnologías de acuerdo y aprendizaje dentro de arquitecturas de razonamiento práctico. Se abordan temas vinculados a arquitecturas de agentes inteligentes (en particular, arquitecturas BDI y Procesos de Decisión Markov), mecanismos de votación, argumentación y negociación como tecnologías de acuerdo, y aprendizaje automático.

Palabras clave: sistemas multi-agente, tecnologías de acuerdo, toma de decisión, aprendizaje automático.

Contexto

La línea de investigación “Agentes Inteligentes” forma parte del proyecto “Herramientas y mecanismos para la toma de decisiones en agentes inteligentes artificiales”, Proyecto de Investigación consolidado de la Universidad Nacional de San Luis. En este proyecto el objetivo principal es avanzar en la integración de las investigaciones sobre herramientas para la extracción y análisis inte-

ligente de contenido Web de calidad y desarrollo e integración de modelos y mecanismos efectivos para la toma de decisiones, y el aprendizaje automático.

Las dos fuentes de financiamiento de este proyecto son la Universidad Nacional de San Luis y la Comisión Europea de Investigación e Innovación, a través del programa Marie Curie Actions: FP7 People 2010 IRSES.

Introducción

Aunque no existe en la actualidad un consenso en la definición de *agente artificial inteligente* (AAI), tal vez la acepción más comúnmente aceptada es la dada por Wooldridge y Jennings [28], donde un agente es un sistema computacional basado en hardware o software que posee las siguientes características:

- Autonomía: opera sin la intervención directa de humanos u otros agentes, y tiene algún tipo de control sobre sus acciones y estado interno.
- Sociabilidad: puede interactuar y comunicarse, cuando es apropiado, con otros agentes o humanos.
- Reactividad: percibe su ambiente y responde de manera oportuna a los cambios que se producen en él.

- Pro-actividad: puede exhibir comportamiento dirigido por un objetivo y tomar la iniciativa cuando sea apropiado.

Otra característica de agencia a considerar en ambientes no determinísticos, desconocidos y altamente dinámicos que presentan la mayoría de los problemas de la vida real, es la capacidad de **aprendizaje y adaptación** que tienen los agentes artificiales “embebidos” en este tipo de ambientes. Como es bien sabido, este tipo de capacidades son cruciales para hacer frente a la potencial falta de conocimiento inicial de los agentes como así también para la actualización del conocimiento que se tiene sobre un ambiente y/o agentes que cambian a lo largo del tiempo. De hecho, en la bibliografía fundamental relacionada a los agentes artificiales inteligentes [18], se considera incluso que la capacidad de aprendizaje automático de los agentes directamente determina su grado de autonomía, y que un agente será autónomo en la medida que tenga la capacidad de aprender a determinar cómo tiene que compensar el conocimiento incompleto o parcial que le fue proporcionado inicialmente por su diseñador.

Proveer a un agente de las capacidades necesarias para exhibir el comportamiento flexible descrito anteriormente, no es una tarea trivial. De hecho, una de las áreas de investigación más activa en el ámbito de agentes ha sido la definición de modelos y arquitecturas de agentes que intentan dar una respuesta a este problema. Existen arquitecturas que se han concentrado en el aspecto de la reactividad [1, 6] y otras en cambio que han privilegiado los mecanismos de deliberación y planificación necesarios para proveer un comportamiento pro-activo [15]. Sin embargo, existe actualmente un consenso generalizado de que cualquier arquitectura realista de agente, debería proveer un soporte adecuado para todas estas capacidades. Las arquitecturas híbridas [9, 10] y las basadas en comportamientos [14, 16] han intentado lograr un balance adecuado entre pro-actividad y reactividad. Sin embargo, las arquitecturas que mayor atención han recibido para este pro-

pósito son las denominadas **arquitecturas BDI** [5]. Similarmente, aquellas personas que se han orientado a los enfoques basados en utilidad, han tomado a los **Procesos de Decisión Markov** [3] y los juegos estocásticos [4], como los modelos principales para diseñar e implementar agentes inteligentes.

En todas las arquitecturas mencionadas previamente, el fin último de los procesos internos y de razonamiento de los agentes, es seleccionar las acciones que éste realizará sobre su ambiente. En este contexto, estos procesos orientados hacia las acciones suelen ser referenciados como de *razonamiento práctico* [27], para diferenciarlo del razonamiento teórico, que sólo afecta las creencias del agente sobre el mundo. Sin embargo, desde un punto de vista más general, estas propuestas también pueden ser consideradas como modelos y arquitecturas para la *toma de decisiones de agentes inteligentes*.

Por otra parte, en un *sistema multi-agente* (SMA) [27] un conjunto de agentes interactúa para conseguir algún objetivo difícil de lograr de forma individual. Usualmente, en este tipo de sistemas, cada agente posee información incompleta sobre su entorno y sobre sí mismo, teniendo además capacidades limitadas. El entorno es dinámico y cambiante, viéndose afectado por las acciones de todos los agentes. Por esta razón, no puede predecirse con certeza el estado futuro de ese entorno. El control del sistema es distribuido, los datos están descentralizados, y la computación es asincrónica. Las características mencionadas previamente, que aumentan la complejidad del sistema, proveen también las siguientes ventajas: eficiencia (debido al paralelismo que se logra al disponer de múltiples agentes), robustez y confiabilidad (gracias a la redundancia), escalabilidad y reusabilidad.

Actualmente, ha surgido un nuevo paradigma para la próxima generación de sistemas distribuidos y abiertos, donde las interacciones entre agentes computacionales están basadas en el concepto de *acuerdo*. En el pasado, dicho concepto, fue dominio de estudio para filósofos y sociólogos, y fue aplicado

solamente a la sociedad humana. Sin embargo, hoy en día, el acuerdo y todos los procesos y mecanismos involucrados en lograr acuerdos entre diferentes agentes son también tema de análisis desde perspectivas orientadas a la tecnología, dando lugar a sistemas computacionales donde las componentes interactúan utilizando protocolos de argumentación [2, 11], votación [8, 14, 25], negociación [17, 12] y mercado [19], entre otros. Dicho enfoque constituye la visión denominada **Tecnologías de Acuerdo** (en inglés, *agreement technologies (AT)*) [13] que engloba métodos, plataformas y herramientas para definir, especificar y verificar tales sistemas. Este nuevo paradigma ha quedado de manifiesto en el surgimiento de consorcios de investigación europeos especializados en la temática¹ como así también en la Primera Conferencia Internacional de Tecnologías de Acuerdo (AT-2012) realizada en Octubre de 2012 en Croacia² y la segunda (AT-2013) a realizarse en Agosto del corriente año en China.³

Si bien las tecnologías de acuerdo han recibido una atención considerable en el área de SMA, su aplicación dentro de las arquitecturas y modelos de agentes individuales para la toma de decisiones racional es un área que no ha recibido, hasta el momento, la necesaria atención. Más allá de trabajos aislados sobre el uso de votación en sistemas basados en comportamiento [14, 16] y algunos esfuerzos por incorporar argumentación y/o votación en arquitecturas BDI [20, 21, 25] existe una falencia notoria de propuestas tendientes a sistematizar el uso de estas tecnologías en modelos de toma de decisión ya establecidos, como las arquitecturas BDI y las arquitecturas basadas en utilidades.

Este no es un dato secundario si consideramos que el diseño modular de los agentes, o bien la existencia de múltiples criterios o preferencias personales que pueden entrar en conflicto, conducen naturalmente a situaciones que podrán ser modeladas como un SMA

que funciona “dentro de la cabeza del agente”.

Por otra parte, si bien el aprendizaje automático (en inglés, *Machine Learning (ML)*) ha sido ampliamente desarrollado en modelos como los MDPs [26], no existe una clara especificación de cómo estos procesos podrían llevarse a cabo en enfoques basados en arquitecturas BDI, o de qué manera ML y AT se podrían complementar y/o asistir mutuamente. De igual manera, y a excepción de algunos trabajos recientes en el área [22, 23, 24], tampoco existen suficientes investigaciones dedicadas a analizar la relación entre los MDPs y las arquitecturas BDI, lo que permitiría en primer lugar, integrar las ventajas y atenuar o solucionar los problemas que cada una de ellas exhibe por separado.

Esta idea de integración también ha sido planteada por el Massachusetts Institute of Technology [7] en respuesta al estancamiento producido en el área de Inteligencia Artificial respecto a algunos objetivos planteados inicialmente en la disciplina: “*En lugar de buscar la bala de plata para resolver el problema, estamos considerando un amplio rango de modelos, probando integrarlos y agregarlos*”.

Líneas de Investigación y desarrollo

En base a lo anterior, se puede apreciar la disposición de enfoques y modelos muy potentes para el desarrollo de agentes inteligentes como los MDPs, las arquitecturas BDI, las AT y ML. Por otra parte, si bien la integración de algunos de estos enfoques ha comenzado a realizarse recientemente, no existe, de acuerdo a nuestro conocimiento, propuestas que avancen en una integración de todos ellos en forma simultánea y consideramos, que esto permitiría modelos efectivos, eficientes y flexibles para la toma de decisiones de alto nivel de AAI. Por lo tanto, es en esta problemática donde se pretende generar las principales contribuciones, teniendo como ejes principales de investigación: 1) Arquitecturas de Razonamiento Práctico, particularmente los MDPs y las arquitecturas

¹<http://www.agreement-technologies.org>

²<http://at2012.tel.fer.hr/>

³<http://www.ia.urjc.es/at2013/>

BDI; 2) Tecnologías de Acuerdo; y 3) Aprendizaje automático.

Resultados y objetivos

Las principales motivaciones surgen de la intención de dar respuestas a las falencias descritas previamente, y plantear contribuciones en el área a partir del cumplimiento de los siguientes objetivos:

1. Lograr un entendimiento más profundo de los distintos enfoques basados en AT y aprendizaje automático para su uso en distintas componentes y procesos de modelos de razonamiento práctico, como las arquitecturas BDI y algoritmos basados en MDP y sus variantes. Este aprendizaje de los enfoques, debería incluir la determinación y comparación de las propiedades formales y los aspectos computacionales que involucran estas técnicas y modelos.
2. Obtener, mediante un proceso adecuado de generalización, una arquitectura abstracta para la incorporación de AT y aprendizaje en modelos basados en MDPs y BDI. La idea es lograr un modelo y una arquitectura genérica donde estas componentes puedan ser fácilmente integradas e intercambiadas. En este sentido, nuestra idea es lograr un marco de trabajo genérico para la integración de AT dentro de las arquitecturas de razonamiento práctico al igual que el soporte para el aprendizaje.
3. Determinar, mediante la instanciación e implementación de la arquitectura propuesta en el punto anterior, en qué medida se adecúa a la resolución de problemas concretos del mundo real. Como potenciales dominios de aplicación se prevé trabajar con robots o dispositivos de comunicación móviles (agentes de hardware) y problemas vinculados al área de Web Intelligence.

En este contexto, ya se han logrado algunos avances en estos temas, relacionados

al uso de votación en los procesos internos del agente [8, 25], mientras que en [20, 21] se desarrolló la primera arquitectura concreta de agente que integra al modelo BDI con servicios Web y razonamiento argumentativo en un mismo framework.

Formación de Recursos Humanos

Trabajos de tesis vinculados con las temáticas descritas previamente:

- 1 tesis Doctoral en ejecución.

Referencias

- [1] R. C. Arkin. *Behaviour-Based Robotics*. The MIT Press, 1998.
- [2] J. Bentahar, R. Alam, and Z. Maaamar. An argumentation-based protocol for conflict resolution. In *Workshop on Knowledge Representation for Agents and Multi-Agent Systems*, 2008.
- [3] C. Boutilier, T. Dean, and S. Hanks. Decision-theoretic planning: Structural assumptions and computational leverage. *J. Artif. Intell. Res. (JAIR)*, 1999.
- [4] M. Bowling and M. Veloso. An analysis of stochastic game theory for multiagent reinforcement learning. Technical Report 00-165, Computer Science Department, Carnegie Mellon University, 2000.
- [5] M. Bratman, D. Israel, and M. Pollack. Plans and resource bounded reasoning. *Computational Intelligence*, 1988.
- [6] R. A. Brooks. A robust layered control system for a mobile robot. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, 1986.
- [7] D. Chandler. *Rethinking artificial intelligence*. MIT News Office, 2009.
- [8] M. Errecalde, G. Aguirre, and F. González. Agentes y mecanismos de votación. In *X CACIC*, 2004.

- [9] E. Gat. Integrating planning and reacting in a heterogeneous asynchronous architecture for mobile robots. *SIGART Bulletin*, 1991.
- [10] E. Gat. On three-layer architectures. In *Artificial Intelligence and Mobile Robots*, 1998.
- [11] A. Kakas, N. Maudet, and P. Moraitis. Layered strategies and protocols for argumentation-based agent interaction. In *Argumentation in Multi-Agent Systems*, pages 64–77, 2005.
- [12] H. J. Müller. Negotiation principles. In *Foundations of distributed artificial intelligence*. John Wiley & Sons, 1996.
- [13] S. Ossowski. *Agreement Technologies*. Law, governance and technology series. Springer, 2013.
- [14] P. Pirjanian. *Multiple Objective Action Selection and Behaviour Fusion using Voting*. PhD thesis, Department of Medical Informatics and Image Analysis, Institute of Electronic Systems, Aalborg University, 1998.
- [15] M. E. Pollack. Planning technology for intelligent cognitive orthotics. In *Proceedings of 6th International Conference on AI Planning and Scheduling*, 2002.
- [16] J. Rosenblatt. Damn: A distributed architecture for mobile navigation - thesis summary. In *JETA I*, 1995.
- [17] J. S. Rosenschein and G. Zlotkin. *Rules of Encounter - Designing Conventions for Automated Negotiation among Computers*. The MIT Press, 1998.
- [18] S. Russel and P. Norvig. *Artificial Intelligence - A Modern Approach*. Prentice Hall, 2010.
- [19] T. Sandholm. Distributed rational decision making. In *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, chapter 5. The MIT Press, 1999.
- [20] F. Schlesinger, M. Errecalde, and G. Aguirre. An approach to integrate web services and argumentation into a BDI system. In *9th Intl. Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, 2010.
- [21] F. Schlesinger, E. Ferretti, M. Errecalde, and G. Aguirre. An Argumentation-based BDI Personal Assistant. In *23rd IEA-AIE*, volume 6096 of *LNAI*. Springer, 2010.
- [22] M. Schut, M. Wooldridge, and S. Parsons. On partially observable mdps and bdi models. In *Selected papers from the UKMAS Workshop on Foundations and Applications of Multi-Agent Systems*. Springer-Verlag, 2002.
- [23] G. I. Simari. *Markov Decision Processes and the Belief-Desire-Intention Model: Bridging the Gap for Autonomous Agents*. Springerbriefs in Computer Science. Springer New York, 2011.
- [24] G. I. Simari and S. Parsons. On the relationship between MDPs and the BDI architecture. In *AAMAS*, 2006.
- [25] C. Sosa, F. Schlesinger, E. Ferretti, and M. Errecalde. Integrating a voting protocol within an argumentation-based BDI system. In *XVI CACIC*, 2010.
- [26] R. S. Sutton and A. G. Barto. *Reinforcement Learning: An Introduction*. Adaptive Computation and Machine Learning Series. Bradford Book, 1998.
- [27] M. Wooldridge. *An Introduction to MultiAgent Systems*. John Wiley & Sons, Chichester, England, 2002.
- [28] M. Wooldridge and N. R. Jennings. Intelligent agents: Theory and practice. *Knowledge Engineering Review*, 10:115–152, 1995.