

Toma de decisiones y aprendizaje en agentes artificiales inteligentes

Edgardo Ferretti, Cecilia Sosa Toranzo, Guillermo Aguirre,
Juan Martín Loyola, Leticia Cagnina*, Marcelo Errecalde

Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Computacional
Departamento de Informática, Universidad Nacional de San Luis
e-mails de contacto: {ferretti,lcagnina,merreca}@unsl.edu.ar

Resumen

Este artículo describe, brevemente, las tareas de investigación y desarrollo que se están llevando a cabo en la línea de investigación “Toma de decisiones y aprendizaje automático” en el marco del proyecto “Aprendizaje automático y toma de decisiones en sistemas inteligentes para la Web”. Esta línea se centra en la formalización, diseño y desarrollo de modelos formales y mecanismos para la implementación de sistemas basados en Agentes Inteligentes. En particular, se hace especial hincapié en aquellos procesos y mecanismos que proveen las capacidades fundamentales usualmente asociadas al comportamiento “inteligente”, tales como el aprendizaje automático, el razonamiento y la toma automática de decisiones, la planificación de acciones para alcanzar un objetivo (planning) y la comunicación entre agentes, entre otros.

Las temáticas incluyen el uso de argumentación en la toma de decisiones, arquitecturas de razonamiento práctico, agentes BDI, agentes basados en Procesos de Decisión de Markov, aprendizaje, votación y argumentación en arquitecturas de agentes inteligentes, comunicación entre agentes deliberativos, toma de decisiones “anticipada”, etc.

Palabras clave: Aprendizaje Automático, Toma de Decisiones Automática, Procesos de Decisión Secuencial, MDPs,

*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Arquitecturas BDI, Argumentación, Votación, Comunicación

Contexto

La línea de investigación “Toma de decisiones y aprendizaje automático” es una de las tres líneas del proyecto “Aprendizaje automático y toma de decisiones en sistemas inteligentes para la Web”, un nuevo proyecto que será presentado este año como continuación del Proyecto de Investigación Consolidado (PROICO) titulado “Herramientas y mecanismos para la toma de decisiones en agentes inteligentes artificiales”. Este último proyecto, aprobado por evaluadores externos a la UNSL, se desarrolla en el *Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Computacional* (LIDIC) de la UNSL y ha sido financiado en forma directa por la UNSL (proyecto PROICO 30312) y en forma indirecta por: (a) el Programa de Incentivos (Nro. 22/F237), (b) la Comisión Europea de Investigación e Innovación, a través del programa Marie Curie Actions: FP7 People 2010 IRSES, (c) el CONICET, a través de un investigador asistente y becas: dos de Doctorado y dos de Post-Doctorado asignadas a integrantes del proyecto y (d) el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT-México) y otros organismos científicos del gobierno mexicano, en los que distintos integrantes han participado en tres proyectos de investigación como colaboradores externos.

Este proyecto posee además otras dos líneas de investigación denominadas: “Aplicaciones” y “Minería de textos y de la Web”; la primera enfocada en el uso del aprendizaje automático en psicología, educación y el cuidado de la salud y la segunda vinculada a la ingeniería del lenguaje natural, incluyendo temas como el Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN) y la Lingüística Computacional, la Minería de Textos y de la Web y la recuperación de información de la Web. Es claro en este contexto, que muchos problemas y aplicaciones intersectan los alcances de más de una de las líneas de este proyecto, lo cual involucra un trabajo integrado y coordinado permanente a los fines de optimizar los recursos disponibles para la obtención de los objetivos propuestos.

Introducción

La *toma de decisiones* es un campo de investigación muy activo en áreas muy diversas, como la Filosofía, Economía, Psicología, etc. y donde ha sido estudiada usando las metodologías científicas propias de cada disciplina. En particular, en Ciencias de la Computación, los problemas de toma de decisión han sido abordados mayormente desde el campo de investigación relativo a la Inteligencia Artificial, y donde el concepto de *agente artificial inteligente* (AAI) juega un rol protagónico. No obstante, no existe actualmente un consenso en la definición de AAI, y tal vez la acepción más comúnmente aceptada es la dada en [26]; donde un agente es un sistema computacional (basado en hardware o software) que es *autónomo, social, reactivo y pro-activo*. Otra característica a considerar en ambientes no determinísticos, desconocidos y altamente dinámicos como lo son 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 enfrentar la potencial falta de conocimiento inicial de los agentes como también para actualizar el conocimiento que se tiene sobre un ambiente y/o agentes que cambian a lo largo del tiempo.

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] y otras en cambio que han privilegiado los mecanismos de deliberación y planificación necesarios para proveer un comportamiento pro-activo [14]. Sin embargo, existe actualmente consenso de que cualquier arquitectura realista de agente, debería proveer un soporte adecuado para todas estas capacidades. Las arquitecturas híbridas [10] y las basadas en comportamientos [15] han intentado lograr un balance adecuado entre pro-actividad y reactividad. Sin embargo, las arquitecturas que mayor atención han recibido para este propósito son las denominadas **BDI** [6]. Similarmente, aquellas personas que se han orientado a los enfoques basados en utilidad, han tomado a los **Procesos de Decisión Markov** [4] y los juegos estocásticos [5], como los modelos principales para diseñar e implementar AAI.

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. En este contexto, estos procesos orientados hacia las acciones suelen ser referenciados como de *razonamiento práctico* [25], 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 AAI.

Por otra parte, en un *sistema multi-agente* (SMA) [25] 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 a-

gentes. Es por eso que la comunicación entre agentes emerge como un aspecto sumamente importante, ya que la misma es una actividad netamente social que los agentes usan como parte de un plan para conseguir sus metas. Cada acto comunicativo [2] tiene su razón de ser, y durante su accionar, los agentes deben tomar una decisión acerca del acto del habla más adecuado para cada situación, lo que es una tarea compleja.

En este contexto, 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 usando protocolos de argumentación [3, 11], votación [8, 21], negociación [16, 12] y mercado [17], 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 con la creación de consorcios de investigación europeos especializados en la temática¹ como así también en la organización de Conferencias Internacionales específicas de Tecnologías de Acuerdo.

Si bien las AT 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 ahora, la necesaria atención. Más allá de trabajos aislados sobre el uso de votación en sistemas basados en comportamiento [15] y algunos esfuerzos por incorporar argumentación y/o votación en arquitecturas BDI [18, 21] 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, 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 [19, 20], 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.

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 AAI 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, en particular los MDPs y las arquitecturas BDI; (2) Tecnologías de Acuerdo; y (3) Aprendizaje automático.

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

Resultados y objetivos

Las principales motivaciones surgen de la intención de dar respuestas a las falencias descriptas 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.

En este contexto, ya se han logrado algunos avances. En [24] se presentó un marco que integra AT desde un punto de vista multicriterio para soportar la toma de decisiones internas de un agente BDI; a saber: selección de deseos conflictivos, selección de planes y reconsideración de intenciones. Además, para abordar tales aspectos se implementó un enfoque concreto basado en votación. Así este trabajo extiende una propuesta anterior basada en argumentación [22], y se demuestra su adecuación como marco abstracto al presentar una instanciación, con un mecanismo basado en votación, en más etapas de decisión internas, que las consideradas originalmente en [22]. Asimismo, en [23], se presenta una propuesta novedosa, donde la reconsideración de intenciones es planteada en términos de un modelo de elección dicotómico, lo que permite cambiar de forma flexible las intenciones con las que se ha comprometido el

agente dependiendo de cómo evoluciona su entorno.

El trabajo a futuro, incluye el uso de modelos inicialmente pensados para procesos de decisión secuencial (MDPs), en problemas de categorización de textos donde es crítico realizar la clasificación *tan pronto* como sea posible. Estos escenarios conocidos como “early text classification”, ya han sido abordados como MDPs en [7] y serían de suma importancia en problemas de detección de pedófilos y de bullying. Integrantes de nuestro grupo, ya han participado en estudios preliminares en esa dirección [9], y se dirige un trabajo final de Licenciatura en esta temática. Respecto al área de comunicación entre agentes, está previsto continuar con el estudio y experimentación de distintos modelos de comunicación considerando las ventajas y desventajas de los dos principales estrategias: el enfoque *mentalista*, que sigue la teoría de los actos del habla en base a las creencias del agente y el enfoque *social*, donde la coordinación de acciones se consigue a través de acuerdos sustentados en la confianza y los compromisos asumidos.

Formación de Recursos Humanos

Trabajos de tesis vinculados con las temáticas descritas previamente:

- Dos tesis Doctorales en ejecución (una con beca de la UNSL).
- Un trabajo final de Licenciatura.

Referencias

- [1] R. C. Arkin. *Behaviour-Based Robotics*. The MIT Press, 1998.
- [2] J. L. Austin. *How to Do Things with Words*. Harvard University Press, Cambridge, MA, Cambridge, MA, 1962.
- [3] J. Bentahar, R. Alam, and Z. Mamar. An argumentation-based protocol for conflict resolution. In *Workshop on Knowledge Representation for Agents and Multi-Agent Systems*, 2008.

- [4] C. Boutilier, T. Dean, and S. Hanks. Decision-theoretic planning: Structural assumptions and computational leverage. *J. Artif. Intell. Res. (JAIR)*, 1999.
- [5] 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.
- [6] M. Bratman, D. Israel, and M. Pollack. Plans and resource bounded reasoning. *Computational Intelligence*, 1988.
- [7] G. Dulac-Arnold, L. Denoyer, and P. Gallinari. Text classification: A sequential reading approach. *LNCS*, 661:411–423, 2011.
- [8] M. Errecalde, G. Aguirre, and F. González. Agentes y mecanismos de votación. In *X CACIC*, 2004.
- [9] H. J. Escalante, M. Montes-y-Gómez, L. V. Pineda, and M. L. Errecalde. Early text classification: a naive solution. *CoRR*, abs/1509.06053, 2015.
- [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] M. E. Pollack. Planning technology for intelligent cognitive orthotics. In *6th International Conference on AI Planning and Scheduling*, 2002.
- [15] J. Rosenblatt. Damn: A distributed architecture for mobile navigation - thesis summary. In *JETAI*, 1995.
- [16] J. S. Rosenschein and G. Zlotkin. *Rules of Encounter - Designing Conventions for Automated Negotiation among Computers*. The MIT Press, 1998.
- [17] T. Sandholm. Distributed rational decision making. In *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*. The MIT Press, 1999.
- [18] F. Schlesinger, E. Ferretti, M. Errecalde, and G. Aguirre. An Argumentation-based BDI Personal Assistant. In *23rd IEA-AIE*. Springer, 2010.
- [19] 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.
- [20] G. I. Simari and S. Parsons. On the relationship between MDPs and the BDI architecture. In *AAMAS*, 2006.
- [21] C. Sosa, F. Schlesinger, E. Ferretti, and M. Errecalde. Integrating a voting protocol within an argumentation-based BDI system. In *XVI CACIC*, 2010.
- [22] C. Sosa-Toranzo, M. Errecalde, and E. Ferretti. A framework for multi-criteria argumentation-based decision making within a BDI agent. *JCS&T*, 14(1), 2014.
- [23] C. S. Toranzo, M. Errecalde, and E. Ferretti. Intention reconsideration like uncertain dichotomous choice model. In *XX CACIC*, 2014.
- [24] C. S. Toranzo, M. Errecalde, and E. Ferretti. On the use of agreement technologies for multi-criteria decision making within a BDI agent. In *IBERAMIA 2014*, pages 54–65, 2014.
- [25] M. Wooldridge. *An Introduction to MultiAgent Systems*. John Wiley & Sons, Chichester, England, 2002.
- [26] M. Wooldridge and N. R. Jennings. Intelligent agents: Theory and practice. *Knowledge Engineering Review*, 1995.