

Edificios Inteligentes: el enfoque multi-agente

Marcelo Luis Errecalde

Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Computacional (LIDIC)

Universidad Nacional de San Luis

Ejército de los Andes 950 – Local 106, (5700) – San Luis – Argentina

merreca@unsl.edu.ar

Marta Lasso, Andrea Villagra, Daniel Pandolfi, M. Eugenia de San Pedro

Laboratorio de Tecnologías Emergentes (LabTEM)

División Tecnología – Dpto. Cs. Exactas y Naturales

Universidad Nacional de la Patagonia Austral – Unidad Académica Caleta Olivia

Ruta 3 Acceso Norte s/n. (9011) Caleta Olivia. Santa Cruz – Argentina

e-mail: {mlasso, avillagra, dpandolfi, edesanpedro}@uaco.unpa.edu.ar

RESUMEN

Este artículo describe, en forma resumida, parte de los trabajos de investigación y desarrollo que recientemente han comenzado en el Laboratorio de Tecnologías Emergentes (LabTEM) con la colaboración de la línea “Agentes y Sistemas Multi-Agente” del Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Computacional (LIDIC). El objetivo de este trabajo es abordar la problemática general de la Administración de Edificios y ambientes Inteligentes mediante el uso de Sistemas Multi-agente. Para ello, se presentan algunas de las particularidades y requerimientos que surgen en este tipo de dominios y los motivos por los cuales consideramos que el enfoque multi-agente puede dar una respuesta adecuada.

Palabras Claves: Sistemas Multi-agente, Edificios Inteligentes, Inteligencia Artificial, Domótica.

1. INTRODUCCIÓN

Se puede definir a un *edificio (o ambiente) inteligente* como “aquel que utiliza tecnología computacional para controlar en forma automática su funcionamiento, de manera tal de optimizar el confort del usuario, el consumo de recursos (por ejemplo energía), la seguridad y la eficiencia del trabajo” [1]. Si bien éste es el término más popular en los últimos tiempos, la problemática de la administración de edificios inteligentes, también ha sido abordada con otras denominaciones: “inteligencia ambiental”, “automatización del hogar”, “hogar inteligente” y “domótica” entre otras.

No es casual el interés creciente en la automatización de edificios. Existe hoy en día una gran diversidad de dispositivos de bajo costo que permiten la interconexión de artefactos eléctricos, sensores y computadoras presentes en un edificio. Surge así la idea de hacer un uso más adecuado de estos recursos, de manera tal de reducir los costos de funcionamiento

y mantenimiento del edificio e incrementar el confort y seguridad de sus habitantes. Sin embargo, el uso racional de estos recursos suele requerir que los programas de computación involucrados tengan un grado de flexibilidad y autonomía que difícilmente puedan ser logrados mediante las técnicas de diseño y programación clásicas. Hablamos en este caso, de sistemas que deberían ser lo suficientemente “inteligentes” como para actuar en forma adecuada en situaciones cambiantes, imprevistas y complejas.

Los problemas con estas características han sido abordados usualmente mediante los denominados “sistemas inteligentes”, englobando con este término tanto a sistemas de Soft Computing (<http://www.ieee-cis.org>) como a enfoques clásicos de Inteligencia Artificial basados en representaciones y formas de razonamiento de alto nivel [2, 3, 4]. Más allá de las diferencias significativas entre estos enfoques existe un concepto unificador conocido como *agentes inteligentes* [2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11] que ha permitido utilizar la técnica más adecuada en cada caso y realizar distintas formas de hibridización en aquellos casos en que fuera necesario.

A grandes rasgos, un agente inteligente es una entidad (de software o hardware) autónoma, conectada directamente al ambiente del problema, que es capaz de exhibir un comportamiento flexible (reactivo, proactivo y social) tendiente a cumplir sus objetivos de diseño. Si existe más de un agente interactuando en un ambiente compartido, el sistema multi-agente resultante tiene un valor agregado considerable ya que los agentes pueden compartir sus conocimientos y habilidades, pudiendo realizar actividades que van más allá de sus capacidades individuales.

La problemática vinculada a la administración de edificios inteligentes, tiene muchas características que son apropiadas para ser abordadas con un enfoque

multi-agente, como ha quedado reflejado en trabajos recientes vinculados al análisis, desarrollo e implementación de sistemas para la administración autónoma e inteligente de edificios para uso familiar, oficinas y de tipo industrial. A partir de esta tendencia, han surgido un número considerable de desafíos tanto teóricos como prácticos a los cuales el paradigma de los sistemas multi-agente debe dar una respuesta acorde a las particularidades de este área de aplicación. Es así que aspectos tales como planificación, optimización del uso de recursos, scheduling, aprendizaje de máquina, comunicación y coordinación de agentes, comienzan a ser replanteados bajo la perspectiva de la administración inteligente de un edificio.

En este contexto, este trabajo describe en la sección 2 algunos aspectos generales de los edificios inteligentes. La sección 3 introduce conceptos elementales de sistemas multi-agente y su relación con los edificios inteligentes. Finalmente, en la sección 4 se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

2. EDIFICIOS INTELIGENTES (EI)

Las casas de familia, oficinas e industrias han incorporado, en forma paulatina, distintos dispositivos basados en tecnologías avanzadas. Es común que hoy en día se hable de sistemas automáticos para vigilancia, prevención y control de incendios, control de ascensores, climatización e iluminación como así también de procesos industriales automatizados y equipamientos o electrodomésticos "inteligentes". La disponibilidad y abaratamiento del hardware necesario para este tipo de aplicaciones ha llevado a que elementos tales como robots móviles, sensores inteligentes, cámaras para visión ambiental y computadoras con alto poder de procesamiento entre otros, comiencen a formar parte de nuestra vida diaria como partes constituyentes de los edificios donde vivimos y trabajamos.

Si sumamos a este fenómeno, las posibilidades de interconectar estas componentes que existen hoy en día, la idea de lograr *edificios inteligentes* surge naturalmente, es decir, edificios que permitan realizar las tareas cotidianas de manera más fácil, segura, confortable y eficiente. Basta observar que es posible hoy en día conectar sensores, computadoras y artefactos eléctricos inteligentes o tradicionales mediante Internet para imaginar innumerables aplicaciones prácticas. Algunos ejemplos de aplicaciones son:

- *Ahorro de energía*: se puede lograr un menor consumo de energía, controlando de manera flexible y dinámica la calefacción, refrigeración e iluminación de las distintas partes de un edificio. Un ejemplo simple, es el apagado automático de luces en una habitación, cuando se detecta la ausencia de personas.
- *Servicios personalizados*: es común que los habitantes de un edificio inteligente puedan expresar sus preferencias en aspectos tales como

la intensidad de la luz y temperatura de su oficina. Este tipo de servicios pueden ser muy útiles y placenteros para las personas en la medida que el edificio pueda satisfacer automáticamente dichas preferencias.

- *Seguridad*: este aspecto abarca tanto la seguridad e integridad de los habitantes del edificio como la del edificio en sí mismo. Un ejemplo del segundo tipo de aplicación es aquel en que el edificio debe mantener una temperatura mínima para las cañerías de un edificio para evitar que éstas se rompan debido al congelamiento.
- *Vigilancia*: en este caso, un sistema de detección de intrusos podría, por ejemplo, cerrar todas las puertas y ventanas automáticamente y dar aviso a los servicios de vigilancia tradicionales cuando fuera necesario.

Hoy en día, muchos de los dispositivos y sistemas utilizados para la automatización de edificios suelen ser referenciados como "inteligentes". En su mayoría, son aplicaciones más bien elementales y distan significativamente de las características de los sistemas inteligentes que están disponibles hoy en día en un entorno de computadora. Esto no significa que la administración de un edificio inteligente no presente aspectos que harían aconsejable la incorporación de más inteligencia, entre los que podemos citar:

- *Flexibilidad*: el sistema debe proveer el soporte necesario para extender y modificar las políticas que se adoptan en el edificio. Idealmente, debería tener la capacidad de detectar y adaptarse automáticamente a estos cambios.
- *Escalabilidad*: el sistema debería funcionar adecuadamente en habitaciones, pequeños edificios como así también en edificios con muchos pisos y habitaciones. Las extensiones en la construcción y la incorporación de nuevos dispositivos, no debería involucrar un costo significativo para la adaptación del sistema de control del edificio a los nuevos requerimientos.
- *Robustez*: las fallas en el sistema, no deberían tener un gran impacto. Sería inaceptable que un error de programación haga el edificio incontrolable.
- *Amigabilidad*: el sistema debería asistir a sus habitantes y facilitarles sus tareas automatizando gran parte de sus actividades rutinarias. Las personas también deberían poder retomar el control manual cuando lo consideren necesario.
- *Tiempos de respuestas adecuados*: el ambiente es esencialmente de tiempo real y el sistema debería dar respuesta a los requerimientos en un lapso de tiempo acotado.

Es interesante observar que la mayoría de estas propiedades son características de los sistemas basados en agentes inteligentes. Por lo tanto, no es de extrañar que gran parte de las propuestas más recientes para la administración inteligente de edificios hayan adoptado este enfoque [1, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22]. La sección siguiente continúa con la descripción de la vinculación entre edificios inteligentes y sistemas multi-agente.

3. SISTEMAS MULTI-AGENTE Y EI

Un agente inteligente es una entidad (de software o hardware) autónoma, conectada directamente al ambiente del problema, que es capaz de exhibir un comportamiento flexible tendiente a cumplir sus objetivos de diseño. Al hablar de comportamiento flexible, referenciamos el hecho de que debe ser capaz de reaccionar a tiempo a los cambios en el ambiente (reactividad), tomar la iniciativa cuando sea necesario (pro-actividad) y comunicarse e interactuar con otros agentes humanos o artificiales (sociabilidad). Si varios agentes interactúan en un ambiente compartido, se tiene un sistema multi-agente. Un sistema multi-agente (SMA) es una red débilmente acoplada de componentes (agentes) que trabajan en conjunto para resolver problemas que superan sus capacidades y/o conocimientos individuales. Algunas características distintivas de un SMA son:

- Existe más de un agente en el sistema.
- Los agentes son autónomos, distribuidos, posiblemente heterogéneos y pueden ser individualistas o cooperativos.
- Cada agente tiene información incompleta, o capacidades limitadas para resolver el problema, por lo que cada agente tiene un punto de vista limitado.
- Un SMA es usualmente abierto y no existe diseño centralizado.
- No existe un control global del sistema y los datos están descentralizados.
- La computación es asíncrona.
- Existe alguna infraestructura que especifica los protocolos de comunicación e interacción.

Algunas de las razones del interés creciente en los SMA son: a) su *robustez* (a partir de la redundancia), b) *eficiencia* (a partir del paralelismo), c) capacidad de permitir la inter-operación de sistemas legados existentes, d) habilidad para resolver problemas en los que los datos, habilidades o el control están distribuido y e) problemas que requieren patrones de interacción sofisticados entre las componentes del sistema.

Es posible ahora, visualizar más claramente las relaciones que existen entre la administración de edificios inteligentes y los SMA's. En este caso, podremos contar con agentes que representan distintos dispositivos, sensores o efectores, las personas que habitan el edificio, habitaciones, e incluso el edificio completo. También será posible diseñar los agentes tomando en cuenta una visión funcional y tener agentes de comfort personal, de seguridad, de individualización y localización de personas, etc.

Los agentes podrán estar distribuidos en distintas computadoras y dispositivos, recolectando la información necesaria para llevar a cabo sus tareas y comunicándose cuando fuera necesario. Cada agente será tan autónomo como sea posible requiriendo para su funcionamiento la mínima intervención humana. Algunos agentes ejecutarán en forma ininterrumpida como por ejemplo los asociados a habitaciones u otras partes del edificio. Otros en cambio tendrán un ciclo de vida más corto acorde a las necesidades. Este será el caso de los agentes que representan a las personas que ocupan el edificio, los cuales podrán ser creados/ destruidos cada vez que la persona asociada ingresa/abandona el edificio.

Las características y propiedades de los sistemas multiagente pueden jugar un rol fundamental para alcanzar aquellos atributos que previamente consideramos como deseables para un sistema que controle un edificio inteligente (flexibilidad, escalabilidad, robustez, amigabilidad y reactividad).

Un agente inteligente debe, por definición, ser capaz de exhibir un comportamiento flexible. La flexibilidad que puede brindar un agente en este contexto, no se limita a las facilidades para definir nuevas políticas y dispositivos. En este caso, el significado es más amplio y puede incluir comportamientos e interacciones de los agentes con un grado significativo de complejidad. A modo de ejemplo, consideremos el caso de un agente *AE* correspondiente a un empleado arbitrario *E* de una empresa, que recibe una notificación desde el sistema de vigilancia de su casa, indicando que la alarma se ha activado. En este caso, *AE* podrá interactuar con un agente de identificación de personas *PIA* encargado de mantener la ubicación de las personas dentro del edificio, solicitándole la ubicación actual de *E*. Una vez determinado que *E* se encuentra en una habitación arbitraria *R*, el agente *AE* podrá solicitar a un agente *AR* encargado de administrar la habitación *R* que le comunique las novedades al empleado *E*. El agente *AR* podrá utilizar para ello el sistema de altavoces de la habitación *R*. Sin embargo, al detectar que *E* se encuentra reunido con otras personas, decide enviarle un mensaje a su teléfono celular. Dado que *E* podría haber desactivado su teléfono para no ser interrumpido, el agente *AR* decide mandar el mensaje de manera tal que sea mostrado inmediatamente en la pantalla de la computadora que está siendo utilizada por *E*.

La escalabilidad está garantizada, ya que la incorporación de nuevas componentes sólo involucra la definición y creación de los agentes que las representen.

La robustez está implícita en las propias características distribuidas de los SMA. Si se produce una falla en una computadora, los agentes afectados podrán ser reemplazados por otros agentes que adopten sus roles, reduciéndose de esta manera los problemas asociados con los puntos de falla críticos.

Un agente podrá por su parte, anticipar las necesidades de un usuario, tomar la iniciativa y ejecutar una tarea en forma autónoma sin el requerimiento activo de una persona. En el caso ideal de autonomía, este agente podrá aprender las preferencias particulares de la persona y realizar sus acciones de acuerdo a sus observaciones de su comportamiento. También podrá responder en forma urgente cuando la situación lo requiera utilizando una arquitectura de agente adecuada para estos casos. Estas características podrán influir positivamente en todos los aspectos vinculados a la amigabilidad. Pensemos por ejemplo en agentes que adaptan las condiciones de temperatura o luminosidad de acuerdo a la persona que ocupa una habitación, o bien baja el volumen del equipo de audio cuando la persona atiende el teléfono ya que ha visto ese comportamiento en otras oportunidades.

Más allá de las ventajas potenciales de los SMA's, se deben dar respuesta a distintos interrogantes:

1. ¿Cómo formular, describir, descomponer y asignar problemas y sintetizar resultados entre un grupo de agentes inteligentes?.
2. ¿Cómo habilitamos a los agentes para comunicar e interactuar?. ¿Con que lenguajes y protocolos?. ¿Qué y cuando comunicar?. ¿Qué sucede si no es posible la comunicación?.
3. ¿Cómo coordinar el comportamiento de agentes autónomos cuando existen distintos puntos de vista sobre la resolución de un problema, conflictos por el acceso a recursos escasos o incompatibilidad de objetivos?.
4. ¿Cómo habilitar a los agentes individuales para representar y razonar sobre las acciones, planes y conocimiento de los otros agentes para poder coordinar con ellos?.

Para cada uno de estos interrogantes se deben considerar las particularidades que surgen cuando se aplica un SMA al contexto de un edificio inteligente. Con respecto a la descomposición y asignación de problemas y síntesis de los resultados, los edificios inteligentes tienen la particularidad de que no existe en general un único objetivo o tarea a realizar. En realidad, el edificio en sí puede ser considerado como un SMA cooperativo con distintos agentes que intentan alcanzar objetivos específicos, o bien como un gran agente que debe balancear múltiples objetivos.

Desde la perspectiva multi-agente, cada agente tendrá asignado un conjunto de tareas específicas pero podrá delegar algunas tareas a otros agentes más capacitados cuando fuera necesario. A modo de ejemplo, y como fuera planteado en [12], consideremos el caso en que existen agentes personales de confort (*APC*), cada uno de los cuales está asociado a un habitante particular, manteniendo una representación de sus preferencias personales (iluminación y temperatura ambiental por ejemplo) y que actúa intentando satisfacer dichas preferencias. Si un habitante particular se mueve de una habitación a otra, un agente de identificación (*PIA*) encargado de mantener la ubicación de cada uno de los habitantes en el edificio, podrá informar del cambio de ubicación de la persona al agente *APC* correspondiente. El agente *APC* podrá comunicarse en este caso con el agente *AR* asociado a la habitación donde se movió la persona, de manera tal de solicitarle que las condiciones ambientales de la habitación sean ajustadas de acuerdo a las preferencias de la persona que representa. Si bien éste es un ejemplo muy sencillo, para aquellas tareas que requieran un número considerable de agentes y recursos computacionales, la asignación de tareas podrá basarse en protocolos de negociación de alto nivel [23, 24, 25, 26]. Una situación similar podrá darse en aquellos casos en que se produzca la caída (falla) de uno o más agentes, en cuyo caso los agentes restantes deberán tomar una decisión consensuada acerca de cuales serán los agentes que adoptarán los roles de los agentes caídos y llevarán a cabo sus tareas.

El aspecto de la *comunicación* entre los agentes que controlan un edificio inteligente también es un factor fundamental a considerar. En algunos casos, se ha basado en enfoques tradicionales en Inteligencia Artificial Distribuida como por ejemplo los sistemas "blackboard" (pizarras) [14]. También es posible modificar el ambiente como una forma reactiva de comunicación ("stigmergy"). La tendencia actual, es utilizar lenguajes de comunicación de agentes basados en la teoría de "speech acts" como por ejemplo KQML y FIPA ACL. Algunos autores sin embargo, han observado que estos lenguajes sufren de falencias para su aplicación en el dominio de los edificios inteligentes y han propuesto lenguajes alternativos específicos para este área [27]. Un fenómeno similar se observa en la comunicación de bajo nivel, donde se han propuesto infraestructuras de redes y protocolos específicos, como la tecnología LonWorks (www.echelon.com) o los enfoques descritos en [16].

La coordinación de los agentes, al igual que en otros dominios, es un aspecto importante para lograr un comportamiento coherente del SMA que administra un edificio inteligente. La distribución de los datos y el control entre varios agentes autónomos ocasiona frecuentemente la generación de conflictos debido a la existencia de distintos puntos de vista, el acceso a recursos escasos o la incompatibilidad de objetivos.

Para ejemplificar una situación de este tipo, consideremos nuevamente el ejemplo presentado previamente con agentes personales de confort para los distintos habitantes del edificio. En este caso, si cada agente intenta satisfacer las preferencias de una persona respecto a los parámetros ambientales (por ejemplo luminosidad y temperatura), probablemente exista un conflicto de objetivos cuando varias personas compartan la misma habitación. En estos casos, se podrán utilizar distintos mecanismos de negociación para que los agentes involucrados arriben a un resultado social consensuado.

Otro aspecto crucial a considerar es la forma en que los agentes representarán y razonarán acerca del funcionamiento de los dispositivos, habitaciones, el edificio, las capacidades de los otros agentes y los habitantes del edificio. En algunos casos serán adecuados esquemas reactivos que rápidamente responden a las demandas urgentes. En otros (si por ejemplo existe interacción con el edificio mediante lenguaje natural) serán necesarios agentes deliberativos con capacidades de representación y razonamiento de alto nivel.

4. CONCLUSIONES

La discusión hoy en día no se plantea en términos de si las habitaciones y edificios serán más inteligentes o no, sino en *cuándo* estas características formarán parte de nuestra vida diaria. La administración de edificios inteligentes parece ser el nuevo desafío de la inteligencia computacional que revolucionará la forma en que la gente vive y trabaja en los edificios. Esta revolución también afecta el concepto de *interface inteligente* ya que ahora el usuario se encuentra *inmerso* en el ambiente con el que podrá interactuar usando el lenguaje natural, gestos o apuntando con un dedo. En este contexto, el LabTEM en colaboración con el LIDIC, ha comenzado a trabajar en distintas aplicaciones en edificios inteligentes vinculadas al confort, seguridad y ahorro de energía utilizando para ello el enfoque multi-agente. Esta tarea involucra aspectos teóricos y prácticos y en especial el estudio de las nuevas tecnologías existentes para la implementación de edificios inteligentes. En este sentido, los grupos de investigación involucrados contarán con el asesoramiento técnico de empresas tecnológicas del medio interesadas en la temática de los edificios inteligentes.

Referencias

- [1] S. Sharples, V. Callaghan, and G. Clarke, "A multi-agent architecture for intelligent building sensing and control," *Int'l Sensor Review Journal*, vol. 19, no. 2, 1999.
- [2] D. Poole, A. Marckworth, and R. Goebel, *Computational Intelligence - A Logical Approach*. Oxford University Press, 1998.
- [3] M. Bratman, D. J. Israel, and M. E. Pollack, "Plans and resource-bounded practical reasoning," *Computational Intelligence*, vol. 4, no. 4, pp. 349-355, 1988.
- [4] A. J. García and G. R. Simari, "Defeasible logic programming: an argumentative approach," *Theory and Practice of Logic Programming*, vol. 4, no. 2, pp. 95-138, 2004.
- [5] M. Wooldridge and N. R. Jennings, "Intelligent agents: Theory and practice." [HTTP://www.doc.mmu.ac.uk/STAFF/mike/ker95/ker95.html](http://www.doc.mmu.ac.uk/STAFF/mike/ker95/ker95.html) (Hypertext version of Knowledge Engineering Review paper), 1994.
- [6] M. Huhns and L. Stephens, *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, ch. Multiagent Systems and Societies of Agents, pp. 79-120. The MIT Press, 1999.
- [7] S. Russell and P. Norvig, *Artificial Intelligence - A Modern Approach*. Prentice Hall, second ed., 2003.
- [8] S. Kalenka and N. R. Jennings, *Cognition, Agency and Rationality*, ch. Socially Responsible Decision Making by Autonomous Agents, pp. 135-149. Kluwer, 1999.
- [9] M. Wooldridge, *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, ch. Intelligent Agents, pp. 27-78. The MIT Press, 1999.
- [10] M. Wooldridge, *An Introduction to MultiAgent Systems*. Chichester, England: John Wiley & Sons, 2002.
- [11] M. Wooldridge, *An introduction to multiagent systems*, ch. 4. Practical Reasoning Agents. John Wiley and Sons, LTD, 2002.
- [12] P. Davidsson and M. Boman, "Saving energy and providing value added services in intelligent buildings: A mas approach." *Agent Systems, Mobile Agents, and Applications (LNCS 1882)*, 2000.
- [13] V. Callaghan, G. Clarke, A. Pounds-Cornish, and S. Sharples, "Buildings as intelligent autonomous systems: a model for integrating personal and building agents," in *6th International Conference on Intelligent Autonomous Systems*, 2000.
- [14] E. Steegmans, P. Rigole, T. Holvoet, and Y. Berbers, "Intelligent buildings: a multi-agent system approach,"
- [15] U. Rutishauser, J. Joller, and R. Douglas, "Control and learning of ambience by an intelligent building," *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, vol. 35, no. 1, pp. 121-132, 2005.
- [16] A. Reyes, A. Barba, V. Callaghan, and G. Clarke, "The integration of wireless, wired access and embedded agents in intelligent buildings," in *5th World Multi-Conference on Systemics, Cbernetics and Informatics*, 2001.
- [17] M. H. Coen, "Design principles for intelligent environments," in *Fifteenth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI'98)*, no. SS-98-92, (Madison, WI), pp. 547-554, AAAI, AAAI Press, 1998.
- [18] M. H. Coen, "Building brains for rooms: Designing distributed software agents," in *Proceedings of the Ninth Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence*, (Providence, Rhode Island), 1997.
- [19] R. Brooks, "The intelligent room project," in *Proceedings of the 2nd International Cognitive Technology Conference (CT'97)*, (Aizu, Japan), 1997.
- [20] K. Gajos, "Rascal - a resource manager for multi agent systems in smart spaces," in *Proceedings of CEEMAS 2001*, 2001.
- [21] N. Hanssens, A. Kulkarni, R. Tuchinda, and T. Horton, "Building agent-based intelligent workspaces," in *ABA Conference Proceedings*, June 2002.
- [22] S. Peters, G. Look, K. Quigley, H. Shrobe, and K. Gajos, "Hyperglue: Designing high-level agent communication for distributed applications," Tech. Rep. MIT-CSAIL-TR-2006-017, MIT CSAIL, 2006.
- [23] J. S. Rosenschein and G. Zlotkin, *Rules of Encounter - Designing Conventions for Automated Negotiation among Computers*. The MIT Press, 1994.
- [24] S. Kraus, *Strategic Negotiation in Multiagent Environments*. The MIT Press, 2001.
- [25] N. R. Jennings, S. Parsons, P. Noriega, and C. Sierra, "On argumentation-based negotiation," in *6th International Conference on Information Systems Analysis and Synthesis (ISAS 2000)*, 2000.
- [26] S. Rueda, A. J. García, and G. R. Simari, "Argument-based negotiation among bdi agents," *Journal of Computer Science and Technology*, vol. 2, pp. 1-8, October 2002.
- [27] F. Cayci, V. Callaghan, and G. Clarke, "A distributed intelligent building agent language (dibal)," in *International Workshop on Multi-Agent Systems*, 1998.