Inteligencia Artificial Distribuida y Sistemas Multiagente

Ana García Serrano
ISYS
Departamento de Inteligencia Artificial
Universidad Politécnica de Madrid
agarcia@dia.fi.upm.es

Sascha Ossowski
ESCET
Departamento de Informática
Universidad Juan Carlos de Madrid
s.ossowski@escet.urjc.es

Resumen

Se presenta una panorámica de la Inteligencia Artificial Distribuida y de los Sistemas Multiagente, describiendo los conceptos relacionados y los objetivos de las diferentes líneas de actuación: la Resolución Distribuida de Problemas, los Sistemas Multiagente y los Agentes Autónomos.

1 Inteligencia Artificial Distribuida

El avance tecnológico en las comunicaciones lleva al planteamiento de nuevos escenarios en los que es necesaria la compartición y la coordinación y por consiguiente nuevas metodologías, técnicas y entornos de soporte informático para desarrollo de sistemas que incluyan los aspectos de coordinación y distribución.

La Inteligencia Artificial, campo de la informática, no ha sido impasible a este avance y a finales de los años setenta aparecen los primeros trabajos en Inteligencia Artificial Distribuida (aunque la primera reunión temática fue en 1980). Su objeto es el estudio de modelos y técnicas para resolución de problemas en los que la distribución, sea física o funcional, sea inherente. La metáfora de la 'inteligencia' utilizada está fundada en diferentes metáforas de las ciencias exactas y sociales, como la biología, la física y la sociología. Los individuales hetrerogeneos e independientes del sistema son 'inteligentes' si alcanzan un cierto grado de adaptación mutua.

Los sistemas tradicionales de la Inteligencia Artificial se conciben individualmente como un agente monolítico cuyo comportamiento sería descrito como 'racional' por un observador externo. A principios de los años ochenta los sistemas para resolución distribuida de problemas se caracterizaban por una forma de actuación concurrente en los diferentes nodos de una red, en general con control centralizado, de forma que los diferentes componentes son impasibles ante las actuaciones del resto de los componentes de la red. En este caso el objeto de estudio es la coordinación para resolución distribuida de problemas. Ejemplo paradigmático de esta época es la arquitectura de pizarra del sistema Hearsay [Erman et al. 80].

Al principio de los años noventa aparecen sistemas multiagente con control descentralizado y con módulos reusables [Demazeau 91]. Los agentes de un sistema multiagente se conciben como independientes de un problema en concreto y se dota al sistema de protocolos de comunicación suficientemente genéricos. Un ejemplo es ARCHON [Cockburn y Jennings, 95].

Recientemente los trabajos se han orientado al estudio de la interoperabilidad de sistemas heterogéneos distribuidos o de agentes autónomos y a su forma de adaptarse a entornos dinámicos.

En general, los sistemas IAD se caracterizan por una arquitectura formada por componentes inteligentes y modulares que interactúan de forma coordinada. No existe una terminología compartida en la IAD, ni esquemas de clasificación reconocidos por la mayoría, aunque no hay discrepancias substanciales en cuanto a las ventajas que ofrece el enfoque IAD sobre los paradigmas convencionales:

1. Como los sistemas distribuidos convencionales, los sistemas de la IAD aprovechan la distribución natural del dominio (espacial, temporal, funcional) con los fines siguientes: mejorar el rendimiento, la robustez, facilitar reusabilidad y mantenimiento. Además una arquitectura distribuida facilita el aprovechamiento del paralelismo inherente en la estructura de un problema.
2. Los sistemas IAD generan un valor añadido, que se manifiesta en: una mejor aceptabilidad en la sociedad, favorecer la adaptación estructuras preexistentes en las organizaciones humanas y facilitar la interacción hombre-máquina.
3. Favorecen el desarrollo de modelos cognitivos de cooperación y coordinación como fenómenos complejos y generan evidencia para teorías lingüísticas, psicológicas, sociológicas y filosóficas respecto a estos temas.

Pueden encontrarse diferentes trabajos que presentan el panorama general de la investigación actual en el campo de la Inteligencia Artificial y de los sistemas multiagente [Bond et al. 88] [Parunak 88] [Castillo-Hern 88] [Gasser et al. 89] [Shi 91] [Chaib-Draa 92] [von Martial 92] [Gasser 93] [Molin et al. 96]. Ultimamente, han aparecido más articulos destinados a caracterizar alguna de las muchas corrientes de investigación [Wooldridge et al. 95] [Chaib-Draa 95] [Franklin et al. 96] [Nwana 96] [Castelfranchi et al. 96] [Wooldridge 98] [Huhns, Stephens 98].

A continuación, se presenta la Inteligencia Artificial Distribuida desde la perspectiva de la Resolución Distribuida de Problemas, los Sistemas Multiagente y los Agentes Autónomos.

2 Resolución Distribuida de Problemas

La resolución distribuida de problemas (RDP) estudia los sistemas inteligentes distribuidos con una funcionalidad global y cuyos agentes cumplen unas características mínimas de (Durfee, Rosenschein, 94):

- *Benevolencia*: Los agentes cooperan con los demás siempre que les sea posible. No pueden 'mentir', ni esconder información.
- *Objetivos compartidos*: Todos los agentes valoran el resultado de la actividad del grupo con la misma escala y desean contribuir para maximizar su calidad.
- *Diseño central*: Todos los agentes se diseñan para que se integren en un sistema inteligente, capaz de resolver un problema. El diseñador debe asegurar que los agentes utilicen el mismo lenguaje, que cada agente desempeñe un papel que influya en la consecución del objetivo global etc.

El proceso de razonamiento en un grupo de agentes de un sistema RDP se puede subdividir en cuatro diferentes etapas (en general) (Yang, Zhang 96):

- Descomposición de tareas: una tarea se descompone en tareas menos complejas o más pequeñas.
- Asignación de tareas y recursos entre agentes: se determina qué agentes tendrán que resolver una tarea y de los recursos que disponen.
- Resolución de subproblemas: cada agente resuelve las tareas que le han sido asignadas.
- Integración de soluciones: para componer y conseguir una solución a la tarea inicial.

El dilema básico de la RDP consiste en realizar tal proceso de forma *globalmente coherente*, ya que las decisiones globales se toman localmente pues ningún componente dispone de una visión completa del proceso de resolución del problema.

Debido a que la distribución del conocimiento entre los componentes no tiene por qué coincidir con la estructura del problema, se produce un desajuste de modelos [Ossowski 97], es decir, los agentes dependen de la ayuda de los demás para acceder al conocimiento o a la información que existe en el sistema. Se pueden distinguir tres casos:

- Distribución del conocimiento del caso: Un agente no necesita acceder a un recurso que gestiona otro agente, p. e. los datos de un sensor.
- Distribución del conocimiento del dominio: Un agente no dispone del conocimiento necesario para resolver una tarea y la delega en otro agente.
- Distribución del conocimiento de control (de tareas): Un agente no sabe tramitar una tarea por lo que la pasa a un agente gestor, p. e. un planificador que descompone la tarea y asigna las subtareas.

Esta problemática implica la necesidad de que los agentes coordinen sus acciones. Los diferentes mecanismos de coordinación en la RDP se pueden clasificar en tres grandes grupos (Jennings 96):

- Estructuras de organización: En el contexto de la RDP las estructuras de organización se conciben como patrones estáticos de relaciones de información y de control entre los agentes.

  Por ejemplo, se definen áreas de interés para cada agente, en las que se especifican las tareas de las que el agente es responsable y se definen estructuras de 'autoridad', para resolver conflictos en caso de que las áreas de interés se solapen.
- Planificación multiagente: Antes de comenzar el proceso de resolución del problema los agentes generan un plan en el que se especifican todas sus futuras interacciones.

  La planificación se realiza de forma centralizada, todos los agentes mandan sus intenciones de actuación a un agente coordinador. Este coordinador detecta relaciones conflictivas y sinérgicas entre las acciones potenciales y las coordina para generar el plan del grupo.

  En el caso de planificación multiagente distribuida, ningún agente dispone de conocimiento sobre todas las actividades del grupo, lo cual dificulta considerablemente el proceso de planificación.
- Intercambio de información a metanivel: Este mecanismo facilita la coordinación dinámica, es decir articula el proceso de resolución de problemas con el de planificación.

  Los agentes mantienen los modelos sobre los demás intercambiando información metanivel referente a su percepción del estado de resolución del problema. De este modo predicen localmente las acciones de los demás y eligen las acciones locales compatibles.

Las arquitecturas clásicas de la RDP son los actores [Hewitt 77] la red de contratos [Smith 80] y [Davis et al 83] y la arquitectura de pizarra [Engelmore et al 88]. En estos enfoques la filosofía de diseño es *reduccionista* ya que se descompone la tarea global de forma top-down y se asignan las subtareas a los agentes.

Las nuevas aproximaciones asumen un enfoque mas *constructivo*, ya que los agentes resuelven subproblemas y se coordinan para alcanzar la funcionalidad global (metodología bottom-up) [Jennings, Campos 97]. En los temas 2 y 3 de este monográfico se presentan diferentes metodologías para afrontar el desarrollo de sistemas distribuidos y se muestra la potencialidad de este campo para desarrollo de aplicaciones en tiempo real que controlen funciones de alto nivel con gran volumen de operadores de control.

3 Sistemas Multiagente

En un sistema multiagente el conjunto de agentes está sometido continuamente a cambios locales. Estos cambios se diseñan mediante reglas de comportamiento, cuyos resultados están influenciados por el comportamiento del resto de agentes. En los sistemas multiagente reactivos estas reglas de comportamiento son muy simples y están inspiradas por ejemplo por las ciencias biológicas [Ferber 96].

En el caso de agentes cognitivos las reglas de comportamiento se corresponden con el principio de racionalidad. Por tanto, los sistemas multiagente (SMA) no presuponen las propiedades de benevolencia, metas compartidas y diseño centralizado para la resolución de problemas. Su perspectiva está centrada en la interacción entre los agentes y se caracterizan por [Durfee, Rosenschein 94]:

- *Heterogeneidad de agentes*: Los agentes de un sistema SMA pueden contar con arquitecturas diferentes, utilizar diferentes representaciones internas, comunicarse con diferentes lenguajes etc. Generalmente esta situación es consecuencia de que el sistema y sus agentes no hayan sido diseñados por una única persona y para un fin único.
- *Homogeneidad de intereses*: Un caso extremo de heterogeneidad se da cuando los agentes no son "conscientes"de que persiguen un objetivo común o este objetivo no existe. Entonces los agentes actúan de forma auto-motivada ('egoísta'), emprendiendo acciones únicamente si son individualmente racionales, es decir, beneficiosas para ellos.

En este área el objeto de estudio son las situaciones en las que agentes de este tipo cooperan, formando coaliciones, bajo qué condiciones se retiran de una coalición, y cuando compiten [Sandholm 98] y [Conte, Castelfranchi 95]. Este enfoque se trata en los temas 4 y 6 de este monográfico.

Al diseñar un sistema basado en el conocimiento para un problema particular se elaboran bases de conocimiento, para seguidamente, configurar mecanismos de inferencia que razonen sobre ellas. Sin embargo, este procedimiento es demasiado costoso para construir sistemas inteligentes a gran escala y se plantea 'reutilizar' bases de conocimiento ya existentes.

Un problema importante que surge a la hora de integrar agentes preexistentes reside en la heterogeneidad de sus conocimientos. En este contexto se está promocionando lenguajes intermedios (un ejemplo es KIF, Knowledge Interchange Format). Una vez resuelto el problema de las representaciones heterogéneas, los agentes se entienden en los términos en los que se describe el entorno. Sin embargo, para comunicarse por completo hace falta especificar un lenguaje de comunicación de agentes que defina la pragmática de mensajes. Una propuesta en esta dirección es KQML (Knowledge Query and Manipulation Language) [Finnin et al, 93] un lenguaje de comunicación estándar entre agentes software. Otra propuesta en esta dirección, con énfasis especial en la coordinación entre agentes es Cool [Barbuceanu, Fox 95].

Los sistemas multiagente pueden constituir el marco adecuado para ello: cada sistema basado en el conocimiento se concibe como un agente inteligente, que puede ser utilizado en diferentes dominios. Un nuevo sistema se construye especificando la forma en la que debe interoperar con agentes ya existentes, delegando en ellos una parte de las tareas. De esta forma se comparten conocimiento y técnicas de razonamiento o actuación entre diferentes sistemas [Netches et al 91].

En los temas 5 y 8 de este monográfico se tratan diferentes aspectos de esta problemática.

4 Agentes Autónomos

Con la proliferación de los ordenadores personales, el auge de la Internet y las autopistas de información, la idea de ªgentes software"se ha convertido en uno de los temas de actualidad y especialmente cuando se combina con el adjetivo "inteligente"se generan expectativas sobre "robots software"casi humanos, capaces de realizar tareas sin supervisión. Hoy en día, se utilizan agentes software para tareas muy concretas como son el filtrado de los mensajes del correo electrónico, ayuda en la planificación de reuniones o búsqueda de referencias de artículos en la red. Mucho trabajo de desarrollo se concentra en crear un "mercado electrónico"en el que, a petición del usuario, los agentes realicen tareas (por ejemplo compras).

Un planteamiento de estas características se realiza en el tema 7 de este monográfico.

En base a sus áreas de aplicación, se identifican diferentes tipos de agentes: agentes interfaz (disponen de información sobre el usuario y facilitan asistencia en el manejo de una aplicación particular), agentes de información (gestionan diferentes fuentes distribuidas de información) o agentes virtuales [Nwana 96].

Sin embargo, aunque ya no se discuten las ventajas de los agentes software inteligentes en estos dominios, existen discrepancias al delimitar el concepto de agente software inteligente. Hay tres enfoques, el de caracterización de agentes por propiedades, como sistemas intencionales y por el contexto.

En el enfoque basado en propiedades se caracteriza a un agente software como un proceso informático al que se pueden atribuir una serie de características. La siguiente lista no pretende ser exhaustiva pero recopila un conjunto de propiedades que se consideran esenciales [Wooldridge, Jennings 95]:

- Capacidad para resolver problemas no triviales: Un agente inteligente sabe razonar sobre el entorno, capacidad que le permite realizar un conjunto de tareas
- Racionalidad (limitada): Los agentes están dotados de un conjunto de objetivos y emprenden acciones para realizarlos. Eligen sus acciones según el principio de racionalidad, es decir, prefieren la acción mas prometedora para sus metas. Sin embargo, su actuación está limitada por el tiempo y los recursos.
- Autonomía (limitada): Los agentes tienen sus propias motivaciones a partir de las que generan autónomamente sus objetivos. Sin embargo, para alcanzar gran parte de los mismos dependen de la ayuda de los demás agentes, lo cual pone límite a su autonomía.
- Reactividad y Pro-Actividad: Los agentes perciben el entorno y responden a los cambios que ocurren en él. Además, debido a que generan sus propias metas y pueden actuar convenientemente son capaces de 'tomar la iniciativa'.
- Sociabilidad: Un agente tiene en cuenta la existencia de otros agentes e interactúa con ellos mediante algún tipo de comunicación y un conjunto de convenios.

Hay posturas con una definición más fuerte de agente inteligente al considerarlos como sistemas intencionales [Dennet 87], es decir, entidades cuyo comportamiento se puede describir sobre sus actitudes de información (conocimiento y creencias) o sobre sus actitudes de decisión (deseos, objetivos, interés, compromiso, obligación, etc). Sin embargo, esta caracterización tampoco es satisfactoria. Según el punto de vista del observador, se puede describir todo tipo de objetos en éstos términos.

Una tercera alternativa consiste en trasladar el foco de atención del agente software individual al sistema de agentes. Para ello se define el contexto para seguidamente derivar la noción de agente: *Si un sistema inteligente se caracteriza por la interacción dinámica entre componentes (contrario a la estructura jerárquica del software habitual) entonces es un sistema de agentes software inteligentes. Los componentes de tal sistema se llaman agentes software inteligentes.*

Esta visión aclara la relación entre la tecnología de agentes software y la IAD. La IAD está interesada en las relaciones que surgen entre el entorno, el sistema inteligente, y sus componentes, los agentes. El objetivo último de la IAD es construir un sistema a partir de agentes software que exhiba ciertas funcionalidades en un entorno.

5 Conclusión

Es difícil delimitar los campos relativos a los agentes autónomos, a los sistemas multiagente y a la distribución distribuida de problemas y no existe un consenso en la comunidad de IAD. Sin embargo y con el riesgo de simplificar, se puede afirmar que:

- La resolución distribuida de problemas *se centra en el problema* y en concreto en cómo construir colectivos de agentes que muestren las propiedades externas deseadas de robustez y calidad de respuesta.
- La investigación de agentes autónomos esta *centrada en el agente.* Se intenta asegurar la supervivencia del agente en diferentes situaciones del mundo real en entornos multiagente.
- La investigación en los sistemas multiagente *se centra en la interacciones entre agentes.* Se pretende asegurar las propiedades de estas interacciones, como es la estabilidad en sistemas abiertos en los que los agentes son dinámicos e imprevisibles.

Bibliografía

- Auman et al. 94, Auman, R.; Hart, S. "Handbook of Game Theory". Elsevier, 1994
- Axelrod 84, Axelrod, R. "The Evolution of Cooperation". Basic Books, 1984
- Barbuceanu et al. 95, Barbuceanu, M.; Fox, S. "COOL: A Language for Describing Coordination in Multi Agent Systems". Proc. ICMAS-95, 1995, p. 17-24
- Bond et al. 88, Bond, A.; Gasser, L. "Readings in Distributed Artificial Intelligence". Morgan Kaufman, 1988
- Brooks 95, Brooks, R. "Intelligence Without Reason". [Steels et al. 95]
- Campbell et al. 89, Campbell, J.; Cuena, J. "Perspectives in Artificial Intelligence (Vol.1)". Ellis Horwood, 1989
- Castelfranchi 94, Castelfranchi, C. "Guarantees for Autonomy in Cognitive Agent Architectures". [Wooldridge et al. 94], 1994, p. 56-70
- Castelfranchi et al. 96, Castelfranchi, C.; Conte, R. "Distributed Artificial Intelligence and Social Science: Critical Issues". [O'Hare et al. 96], 1996, p. 527-542
- Casti et al. 94, Casti, J.; Karlqvist, A.. "Cooperation & Conflict in General Evolutionary Processes ", Wiley & Sons, 1994
- Castillo-Hern 88, Castillo-Hern, L. "On Distributed Artificial Intelligence". Knowledge Engineering Review, Vol.3, 1988, p. 21-57
- Chaib-Draa 95, Chaib-Draa, B. "Industrial Applications of Distributed AI". Communications of the ACM Vol.38 No.11, 1995, p. 49-53
- Chaib-Draa et al. 92, Chaib-Draa, H.; Moulin, B. "Trends in Distributed Artificial Intelligence". Artificial Intelligence Review, No. 6, 1992, p. 35-66
- Clearwater 95, Clearwater. S. (Ed.). "Market-based Control: A Paradigm for Distributed Resource Allocation". World Scientific, 1995
- Cockburn et al. 96, Cockburn, D.; Jennings, N. "ARCHON: A Distributed Artificial Intelligence System for Industrial Applications". [O'Hare et al. 96], 1996
- Cohen et al. 90, Cohen, P.; Morgan, J.; Pollack, M. (Eds.). "Intentions in Communication". MIT Press, 1990
- Conte et al. 95, Conte, R.; Castelfranchi, C. "Cognitive and Social Action". UCL Press, London, 1995
- Cuena 93, Cuena, J. "Knowledge Oriented Software Design". North-Holland, 1993
- Cuena 98, Cuena J., Ossowski S.: "Distributed Models for Decision Support". To appear in "Introduction to Distributed Artificial Intelligence". Weiss and Sen (eds.) AAAI/MIT Press, 1998
- Davis et al. 83, Davis, R.; Smith, R. "Negotiation as a Metaphor for Distributed Problem Solving". Artificial Intelligence 20, 1983, p. 63-109
- Decker 95, Decker, K. "Environment Centered Analysis and Design of Coordination Mechanisms". Ph.D. Thesis, UMass Computer Science Dpt., 1995
- Demazeau 95, Demazeau, Y. "From Interactions to Collective Behaviour in Agent-based Systems". Europ. Conf. on Cognitive Science, 1995
- Demazeau et al. 91, Demazeau, Y. "Decentralised A.I. 2". North Holland, 1991
- Durfee 88, Durfee, E. "Coordination of Distributed Problem Solvers". Kluwer, 1988
- Durfee et al. 91, Durfee, E.; Lesser, V.; Corkill, D. "Trends in Cooperative Distributed Problem Solving". Kluwer, 1991
- Durfee et al. 94a, Durfee, E.; Rosenschein, J. "Distributed Problem Solving and Multi-Agent Systems: Comparisons and Examples". Proc. 13th Int. DAI Workshop, 1994, p. 94-104
- Engelmore et al. 88, Engelmore, R.; Morgan, T. "Blackboard Systems". Addison Wesley, 1988
- Erman et al. 80, Erman, L.; Hayes-Roth, F.; Lesser, V.; Reddy, D. "The Hearsay-II Speech-Understanding System: Integrating Knowledge to Resolve Uncertainty". Computing Surveys 12 (2), 1980, p. 213-253
- Finin et al. 93, Finin, T.; Fritzson, R.; McKay, D.; McEntire, R. "KQML - A Language and Protocol for Knowledge and In-

formation Exchange". Technical Report of the ARPA Knowledge Sharing Effort, 1993

- Franklin et al. 96, Franklin, S.; Graesser, A. "Is it an Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents". Proc. ATAL'96, 1996, p. 193-206
- García-Serrano et al. 97, García-Serrano, A.; Ossowski, S. "Coordinación y Cooperación en Sistemas Distribuidos". To appear in: Análisis de Sistemas Complejos (Dolado Ed.), 1997
- Gasser 91, Gasser, L. "Social Conceptions of Knowledge and Action: DAI Foundations and Open Systems Semantics". Artificial Intelligence 47, 1991, p. 107-138
- Gasser et al. 89, Gasser, L.; Huhns, M. "Distributed Artificial Intelligence, Vol. II". Morgan Kaufmann, 1989
- Genesereth et al. 94, Genesereth, M.; Ketchpel, S. "Software Agents". Communications of the ACM, Vol.37, No.7, 1994, p. 48-53
- Georgeff et al. 98, Georgeff J.; Rao, A.; Singh, M.: "Formal Methods in DAI". To appear in "Introduction to Distributed Artificial Intelligence". Weiss and Sen (eds.) AAAI/MIT Press, 1998
- Gmytrasiewicz et al. 93, Gmytrasiewicz, P.; Durfee, E. "Reasoning about other Agents: Philosophy, Theory and Implementation". Int. Workshop on Distributed Artificial Intelligence, 1993
- Hewitt 77, Hewitt, C. "Viewing Control Structures as Patterns of Message Passing". Artificial Intelligence 8, 1977, p. 323-364
- Huhns et al. 98, Huhns, M., Stephens, L.: "Multiagent Systems & Societies of Agents". To appear in "Introduction to Distributed Artificial Intelligence". Weiss and Sen (eds.) AAAI/MIT Press, 1998
- Jennings 96, Jennings, N. "Coordination Techniques for Distributed Artificial Intelligence". [O'Hare et al. 96], 1996, p. 187-210
- Jennings et al. 97, Jennings, N.; Campos, J. "Towards a Social Level Characterisation of Socially Responsible Agents". IEE Proc. on Software Engineering, 144(1), 1997
- Malone et al. 94, Malone, T.; Crowston, K. "Toward an Interdisciplinary Theory of Coordination". Computing Surveys Vol. 26 No.1, 1994, p. 87-119
- McCarthy 79, McCarthy, J. "Ascribing Mental Qualities to Machines". Tech. Rep. Memo 326, Stanford University, AI Lab, 1979
- Moulin et al. 96, Molin, B.; Chaib-Draa, B. "An Overview of Distributed Artificial Intelligence". [O'Hare et al. 96], 1996, p. 3-56
- Müller 96, Müller, H. "Negotiation Principles". [O'Hare 96], 1996, p. 211-225
- Neches et al. 91 Neches, R.; Fikes, R.; Finin, T.; Gruber, T.; Patil, R.; Senator, T.; Swartout, W. "Enabling Technology for Knowledge Sharing". AI Magazine, 1991, p. 36-56
- Newell 93, Newell, A. "Reflections on the Knowledge Level". Artificial Intelligence 59, 1993, p. 31-38
- Nwana 96, Nwana, H. "Software Agents: An Overview". Knowledge Engineering Review, 1996
- O'Hare et al. 96, O'Hare, G.; Jennings, N. "Foundations of Distributed Artificial Intelligence". Wiley Sons, 1996
- Ossowski 98, Ossowski, S.: On the Functionality of Social Structure in Artificial Agent Societies. Se publicará en la serie LNAI, Springer
- Parunak 88 , Parunak, H. "Distributed Artificial Intelligence Systems". [Kusiak 88], 1988, p. 225-251
- Rao et al. 95, Rao, A.; Georgeff, M. "BDI Agents: From Theory to Practice". Proc. ICMAS-95, 1995, p. 312-319
- Rosenschein et al. 94, Rosenschein, J.; Zlotkin, G. "Rules of Encounter: Designing Conventions for Automated Negotiation among Computers". MIT Press, 1994
- Russell et al. 95 , Russell, S.; Norvig, P. "Artificial Intelligence: A Modern Approach". Prentice-Hall, 1995
- Sandholm 98, Sandholm, T. 'Distributed Rational Decision Making'. To appear in 'Introduction to Distributed Artificial Intelligence'. Weiss and Sen (eds.) AAAI/MIT Press, 1998

- Searle 69 , Searle, J. 'Speech Acts'. Cambridge University Press, 1969
- Shi 91, Shi, Z. 'Distributed Artificial Intelligence' p.113-120
- Shoham 93, Shoham, Y. 'Agent-oriented Programming'. Artificial Intelligence 60, 1993, p. 51-92
- Shoham et al. 95, Shoham, Y.; Tennenholz, M. 'On Social Laws for Artificial Agent Societies: Off-line Design'. Artificial Intelligence 73, 1995, p. 231-252
- Sichman et al. 95, Sichman, J.; Demazeau, Y. 'Exploiting Social Reasoning to Deal with Agency Level Inconsistencies'. Proc. ICMAS-95, 1995, p. 352-359
- Smith 80, Smith, R. 'The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver'. IEEE Trans. on Computers, Vol. C29, No.12, 1980, p.1104-1113
- Steels 95, Steels, L. (Ed.). 'The Biology and Technology of Intelligent Autonomous Agents'. Springer, 1995
- Stefik 86, Stefik, M. 'The Next Knowledge Medium'. AI Magazine, Vol. 7, No. 1, 1986, p. 34-46
- Tuomola 96, Tuomola, R. 'Philosophy and Distributed Artificial Intelligence: The Case of Joint Intentions'. [O'Hare et al. 96], 1996, p. 487-504
- Wooldridge M., Jennings, N. 'Agent Theories, Architectures and Languages: A survey'. ECAI'94, Amsterdam.
- Wooldridge et al. 95, Wooldridge, M.; Jennings, N. 'Intelligent Agents: Theory and Practice'. Knowledge Engineering Review, Vol. 10, No. 2, 1995, p. 115-152
- Wooldridge, 98, Wooldridge, M.: 'Intelligent Agents". To appear in "Introduction to Distributed Artificial Intelligence'. Weiss and Sen (eds.) AAAI/MIT Press, 1998
- Yang et al. 96, Yang, H.; Zhang, C. 'Definition and Application of a Comprehensive Framework for Distributed Problem Solving'. [Zhang et al. 96], 1996, p. 1-15
- Zhang et al. 96, Zhang, C.; Lukose, D. 'Distributed Artificial Intelligence Architecture and Modellin'". Springer, LNAI 1087, 1996