

La Planificación de la Producción mediante Sistemas Multiagente. Estado de la Cuestión.¹

Julio J. García-Sabater¹, José Pedro García-Sabater²

¹ Ingeniero Industrial. DOE Universidad Politécnica de Valencia. jugarsa@omp.upv.es

² Dr. Ingeniero Industrial. DOE Universidad Politécnica de Valencia. jpgarcia@omp.upv.es

Palabras clave: Sistemas Multiagente, Planificación de Producción.

1. Introducción

En los últimos años, se han publicado una gran cantidad de trabajos de investigación en el uso de los Sistemas MultiAgente (MAS) en diferentes ámbitos industriales. Estos modelos, al contrario que los tradicionales centralizados o basados en arquitecturas jerárquicas multi-nivel asumen la presencia de varias entidades distribuidas en un sistema de fabricación que pueden tomar decisiones, interactuando y cooperando unos con otros para alcanzar un óptimo global. Las hipótesis en las que se asientan estos modelos son la autonomía local y, frecuentemente, los conflictos entre unidades de decisión, consideran asimismo una relación global con el sistema de fabricación, coherente con las características requeridas de reactividad y flexibilidad. Sin duda alguna, la llegada de los MAS ha representado in la última década una ruptura en el mundo de la investigación, confluyendo investigadores desde heterogéneos y con frecuencia, campos distantes. La naturaleza de un único agente, y en un aspecto más complejo, la interacción entre más agentes, ha atraído entre otros a biólogos, expertos en teoría de juegos, investigadores en inteligencia artificial etc. provee una interesante visión conjunta de los distintos campos de investigación con MAS.

En este trabajo se analizará cómo el paradigma de los MAS está siendo adoptado en practicas y en la realidad industrial y, en particular, en las áreas relacionadas con la planificación de la producción. En particular, después de una breve clasificación de términos y definiciones en los MAS se mostrará una visión de las aplicaciones de los MAS en el contexto de la Cadena de Suministro. Posteriormente se realizará un análisis del grado de madurez de las aplicaciones MAS. Por último, se extraerán algunas conclusiones.

2. Definición y categorización de los Sistemas MultiAgente

Desde los años ochenta han aparecido en la literatura gran variedad de definiciones en el campo de los Sistemas MultiAgente. Para obtener una visión extensa de la teoría de agentes, arquitecturas y lenguajes se recomienda (Wooldridge et al., 1995)

Los SMA no se deben abordar desde una perspectiva monolítica. Más bien, las características de los MAS depende de los requerimientos específicos de cada uno de los campos de

¹ Este trabajo deriva de la participación de sus autores en un proyecto de investigación cofinanciado por el Ministerio de Educación y Ciencia y Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER) con referencia DPI 2004-2598, cuyo acrónimo es "GescoFlow".

aplicación. Por este motivo, la literatura muestra varias propuestas de clasificación de los MAS con la intención de clarificar las diferentes definiciones que cada uno de los investigadores han aportado

La clasificación más importante que se puede establecer en los MAS son:

- Especificaciones de diseño: Algunos autores distinguen dos dimensiones principales de la clasificación para la resolución de problemas distribuidos, que son el control y la comunicación. El primero describe la comunicación entre los agentes, la cooperación entre ellos para lograr coordinarse. El último describe el paradigma de comunicación, los contenidos semánticos y los protocolos. A dicha clasificación se le puede añadir la dimensión agente, que describe la población de agentes en el MAS (p. ej, adaptatividad y autonomía).
- Aplicaciones industriales: esta es una de las principales clasificaciones mostradas por los investigadores y llevada a cabo por Parunak, Jennings y Wooldridge. Los anteriores proponen una clasificación de acuerdo a sus aplicaciones funcionales y observan que la mayoría de las aplicaciones de los MAS en la fabricación están relacionadas con la producción y el diseño (Parunak, 1994). Posteriormente, el mismo autor (Parunak, 1998) provee una taxonomía mucho más extensa de las aplicaciones industriales de los MAS donde aparece por primera vez la madurez como dimensión de las aplicaciones. Una segmentación diferente de la aplicaciones es provista por (Jennings et al., 1998) , que distinguen entre aplicaciones industriales, comerciales, de entretenimiento y aplicaciones médicas.

La propuesta de (Sachdev et al., 1998) representa un puente entre dos corrientes de la taxonomía, desde su clasificación considera la aplicación como dimensión, abarcando no solo las aplicaciones industriales sino también las de entretenimiento, las humanas, además de las dimensiones de agente, organización e interacción.

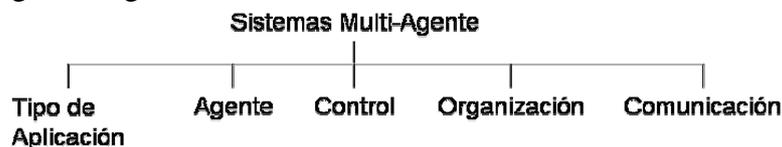


Figura 1: Clasificación por categorías (Fuente: (Caridi et al., 2004))

En este trabajo se adoptará la taxonomía mostrada en la Figura 1, que será utilizada para analizar las características de las aplicaciones de los MAS. Y además se estudiará también el modo de encapsulamiento de los agentes (Botti et al., 2002). A continuación se muestran una breve descripción de los MAS:

- Tipo de aplicación: Cada referencia se clasifica de acuerdo a la actividad de la empresa (diseño, ingenierías...) modelada por la aplicación con MAS. Dentro de cada modelo, cada agente es responsable de una o más actividades e interactúa con otros agentes con el objetivo de cumplir sus tareas. En algunos contribuciones en la literatura, el tipo de aplicación es más ancho que lo que es la actividad de la empresa, y abarca una red de organizaciones. En este caso cada agente representaría una organización.
- Agente: Un agente es una unidad de decisión persiguiendo sus propios objetivos relacionándose con otras unidades del sistema. Los principales atributos de un sistema son la adaptatividad, entendida como la capacidad de adaptarse a la evolución dinámica del ambiente con el objetivo de mantener su

rol y conseguir sus objetivos, capacidad de aprender, que es la capacidad de incrementar sus competencias (Caridi et al., 2004), autonomía y proactividad, que es la capacidad para tomar internamente sus propias decisiones y, de acuerdo a ellas, decidir autónomamente que decisiones y relaciones llevar a cabo en su sistema (Steels, 1995). En la propuesta de taxonomía para aplicaciones MAS industriales, los agentes son clasificados de acuerdo al rol que tienen en el sistema: abarcan desde agentes para la gestión de costes hasta los agentes almacén para gestionar la distribución.

- Control: Las tomas de decisiones distribuidas afectan a la complejidad del control debido a las interdependencias entre los agentes (como resultado de dividir el problema). Debido a esto se requiere adoptar unos buenos mecanismos de coordinación con el objetivo de garantizar la consistencia entre las acciones locales y las acciones globales del sistema. Los mecanismos de coordinación pueden dividirse en implícitos y explícitos.
- Organización: la organización en los MAS es la forma de trabajar en un entorno donde las tareas son distribuidas entre las unidades capaces de tomar decisiones, las principales características de la organización son la estructura de las unidades de toma de decisión y la estructura organizativa.
- Comunicación: es la característica fundamental de los MAS, ya que es la que permite la coordinación entre los agentes. La comunicación puede clasificarse de acuerdo al vehículo de comunicación y a los protocolos utilizados.
- Encapsulamiento: Es el modo en que se crean los agentes para cumplir sus objetivos, si se agrupan según su función (planificador, programador...) o bien según sus características físicas (máquinas, recursos...)

3. Aplicación de los Sistemas Multi-agente en entornos de fabricación

En este apartado se muestra el resultado de clasificar la literatura según la taxonomía descrita en el apartado anterior. La clasificación se finaliza con la evaluación de los tipos de aplicación, la manera en que han sido aplicados los sistemas multi-agente a los sistemas de planificación y control de la producción y su impacto en los sistemas de producción. Se muestran también algunos ejemplos relevantes.

3.1. Tipo de aplicación y rol de los agentes

La tabla 1 (Caridi et al., 2004) muestra el grado de aplicación de los MAS con especial atención a los principales tipos de aplicación: se aporta el porcentaje de artículos encontrados con cada tipo de aplicación y los principales roles de los agentes.

Tipo de Aplicación	%	Rol de los agentes
Quotation Order	5	Gestor de Costes
Diseño	13	Agentes de diseño
Ingeniería	9	Agente de diseño de procesos, de diseño de fabricación
Previsión de demanda	5	agente de ventas, agente de marketin
Gestión de Órdenes	7	Order Agents, order holon
Master production Schedule	6	Agente planificador
Material Requirements Planning	9	Agente planificador
Scheduling	20	Agente programador

Aprovisionamiento	7	Agentes suministradores
Monitoring	17	Agente controlador
Distribución	5	Agente almacén

Tabla 1: Porcentaje de artículos por aplicaciones (Fuente: (Caridi et al., 2004)

Se observa que una de las aplicaciones más importante es el diseño, en la mayoría de los casos de placas electrónicas (Mori et al., 1998). (Ozawa et al., 2000) ofrecen una muestra de ingeniería concurrente, donde uno de los objetivos reside en la coordinación de dos departamentos. Destacar la existencia de artículos de Planificación y control de la producción basados en MRP, como por ejemplo (Kanchanasevee et al., 1997)

3.1.1. Fabricación Discreta

Las estadísticas confirman que la mayoría de los esfuerzos de investigación están centrados en sistemas de producción de flujo no-lineales y con altas cargas de trabajo, como job-shops o talleres de montaje. Entre los estudios más importantes están los de (Baker, 1992), que aportan una aplicación de un MAS en un Small Parts Shop en GE Power Generation (Caridi et al., 2004). Una aplicación importante para las aplicaciones de Scheduling y monitoring están descritas en (Liu et al., 1996), donde los agentes tiene delegada algunas tareas de scheduling y trabajos de producción.

La flexibilidad y efectividad ha sido estudiada en otras aplicaciones como: scheduling y monitoring en un shop floor genérico, en (Maturana et al., 1995); flow shop scheduling (Daouas et al., 1995), que combina los MAS con un recocido simulado.

3.1.2. Cadenas de Suministro

Tradicionalmente, los MAS se han aplicado a nivel empresa tratando de resolver temas específicos de necesidades funcionales o actividades de toma de decisiones. Por tanto, coherentemente con las nuevas prácticas de gestión, que han cambiado de aspectos competitivos a organizaciones basadas basado en el proceso con una perspectiva integrada. Las aproximaciones de los MAS han aparecido utilizándose como soporte para la gestión de la cadena de suministro, y en general como ayuda para las actividades de toma de decisiones entre organizaciones externas.

Se pueden encontrar algunas propuestas con dos o más eslabones de la cadena de suministro en la literatura. Entre las más remarcables está la ISCM (Integrated Supply Chain Management) que es un modelo basados en MAS (Fox et al., 1993) que es uno de los pioneros en este campo. El ISCM está compuesto de un conjunto de agentes cooperantes donde cada agente asume una o más funciones dentro de la cadena de suministro, y coordina sus decisiones con otros agentes relevantes. Los agentes ocupan diferentes roles, en particular, agentes funcionales son diseñados para gestionar las relaciones con los clientes aguas abajo y llevar a cabo las correspondientes tareas, desde ordenes de reaprovisionamiento, hasta planificación de transporte. (Sauter et al., 1999) propone una arquitectura ANTS (Agent Network for Task Scheduling) que descompone cada empresa en una cadena de suministro en miniatura, con productores y consumidores. Como resultado se comprueba que las interfaces entre agentes son las mismas dentro de una empresa que dentro de la cadena de suministro, siendo una integración más natural en el primero de los casos.

(Strader et al., 1998) desarrollan una plataforma de simulación multi-agente, que soportan la toma de decisiones en la cadena de suministro. Algunos otros autores han escrito sobre para la cadena de suministro entre ellos cabe citar (Swaminathan et al., 1998; Sadeh et al., 1999).

3.2. Organización y Control

La tabla siguiente resume las diferentes arquitecturas en la literatura analizada.

Arquitectura de los MAS	%
Heterárquica	48
Heterárquica con coordinadores	26
Jerárquica	4
Jerárquica modificada	12
Holónica	10

Tabla 2: Diferentes arquitecturas en los MAS (Fuente: (Caridi et al., 2004))

En las arquitecturas heterárquicas, no tienen lugar las relaciones jerárquicas entre los agentes. Este tipo de arquitecturas ha sido aplicada en trabajos como planificación y control (Caridi et al., 2000; Baker, 1992) citando a (Baker, 1992) ; sistemas de minifactoría (Gowdy et al., 1999), scheduling job shops (Saad et al., 1995), flow shop, el ISCM (Fox et al., 1993). La revisión de literatura muestra que, aunque las arquitecturas heterárquicas son las más estudiadas, todavía se encuentra lejos de su fase de prototipo o de su fase de producción, lo que significa que su nivel de maduración es bajo. Este tipo de arquitecturas está caracterizada por una sobrecarga de movimiento de información y consecuentemente altos costes de implementación, y por tanto no se garantizan los óptimos.

En las arquitecturas heterárquicas con coordinadores existen agentes que ayudan en la coordinación y comunicación entre los agentes y arreglan posibles disputas con el objetivo de asegurar la estabilidad del sistema. Un ejemplo de este tipo de arquitecturas se encuentra en (Shehory et al., 1998) que persigue el objetivo de la integración de las operaciones de la compañía (diseño, planificación, scheduling,...) entre el mismo y los clientes, proveedores, y partners, en un sistema abierto y distribuido. En la arquitectura ANT (Sauter et al., 1999), los coordinadores ejecutan el rol de brokers. En (Maturana et al., 1995) los mediadores se organizan en estructuras organizadas soportar y coordinar las actividades.

En las arquitecturas jerárquicas, los niveles inferiores dependen de los niveles superiores, que parcialmente o totalmente los controlan. (Caridi et al., 2004)muestra ejemplos de este tipo de arquitecturas donde cada agente-tarea es descompuesta en agentes-tareas de nivel inferior. El PROCURA model (Project Management Model of Concurrent Planning and Design) integra planes tácticos y operativos en una jerarquía top-down (Golfarelli et al., 1997)

En las arquitecturas jerárquicas modificadas, a pesar del alto grado de autonomía de cada agente, se mantiene un nivel jerárquico para mantener la estabilidad del sistema. (Park et al., 1994) presenta una arquitectura para el diseño concurrente de cables industriales, donde la descomposición del sistema refleja la aproximación jerárquica, donde cuatro agentes periféricos, que van adosados con tareas específicas y con un cierto grado de autonomía, están conectadas con un nodo central.

En las arquitecturas holónicas la distribución esta compuesta por holones que se adaptan dinámicamente al ciclo de vida de los sistemas de fabricación (Bongaerts et al., 1995). Los sistemas de fabricación holónicos resumen las mejores propiedades de las arquitecturas jerárquicas y heterárquicas, con gran calidad de resultados y estabilidad frente a posibles perturbaciones.

3.3Comunicación

La comunicación es una de las características más relevantes cuando se desarrollan los Sistemas MultiAgente. El objetivo de la comunicación es actualizar, la información de los agentes sobre su entorno en tiempo real, para que así los agentes puedan reaccionar. Además, la capacidad de anticiparse, y por tanto la incertidumbre se reduce. Por último la comunicación permite tener relaciones con otros agentes y de esta manera cooperar para conseguir objetivos.

La literatura revisada se puede clasificar de acuerdo al paradigma y al protocolo de comunicación. El paradigma define la forma en que la comunicación tiene lugar. El protocolo especifica la estructura del diálogo entre los agentes, la forma de seleccionar las direcciones (comunicación selectiva, comunicación multi-difusión y difusión “por altavoz” (broadcast communication)), y a más alto nivel por la estructura semántica el contenido de los mensajes intercambiados.

El paradigma de comunicación más extendido es el de message passing, con contract-net como mecanismo explícito. Como ejemplo de message passing está el trabajo de (Saad et al., 1995), en un trabajo de scheduling en un job shop dinámico. En este trabajo los agentes no comparten un sitio de memoria fija donde se almacena la información, sino que envían y reciben mensajes de acuerdo a sus normas, el protocolo que se utiliza es el contract-net. Otro ejemplos se puede encontrar en (Kanchanasevee et al., 1997)

En (Sadeh et al., 1999) la comunicación está basada en el paradigma del tablón de anuncios, éste paradigma es muy útil para integrar múltiples fuentes de conocimiento, de hecho permite abarcar el problema de resolución con múltiples fuentes de información, que desarrollan soluciones a problemas comunicándose a través de un tablón de múltiples capas tablón, donde cada capa tiene un contexto específico, que dependen de la situación del entorno (p.ej. órdenes de producción para ser planificadas o programadas, recursos disponibles, acuerdos con proveedores...)

Otros protocolos implementados son el sistema de votación para la comunicación entre agentes de recursos en fabricación de semiconductores (Parunak, 1998). Los protocolos de speech acts en (Fox et al., 1993), la propagación de restricciones en (Sachdev et al., 1998), y protocolos de reactividad en (Gowdy et al., 1999).

3.4. Encapsulación de agentes

En este apartado se clasifican los agentes según su modo de encapsulamiento es decir la forma en que se conforman y dividen los agentes. Entre las diferentes aproximaciones utilizadas para la encapsulación de agentes en sistemas de fabricación basados en agentes, dos aproximaciones son inconfundibles:

- la aproximación de descomposición funcional
- la aproximación de descomposición física.

En la aproximación de descomposición funcional, los agentes son utilizados para encapsular módulos asignados a funciones tales como adquisición de pedidos, planificación, scheduling, manipulación de material, gestión de transporte, y distribución de producto. No hay relaciones explícitas entre agentes y entidades físicas. Ejemplos de este tipo de aproximaciones se encuentran en (Fox et al., 1993), (Peng et al., 1998) (McEleney et al., 1998).

La aproximación funcional es muy útil en la integración de sistemas ya existentes (herramientas CAD, sistemas MRP, etc.) y en la resolución de problemas de legado. Incluso,

en un sistema de fabricación que utilice la aproximación física, la aproximación funcional puede resultar útil. Estos agentes que encapsulan algunas funciones especiales pueden ser utilizados para proporcionar tales servicios en el nivel de sistema, como pueden ser facilitadores, mediadores o monitores del sistema (Peng et al., 1998) y (Maturana et al., 1995).

En la aproximación de descomposición física, los agentes son utilizados para representar entidades del mundo físico, tales como trabajadores, máquinas, herramientas, instalaciones, productos, piezas, características, operaciones, etc. Hay una relación explícita entre un agente y una entidad física. Ejemplos de esta aproximación pueden ser encontrados en (Maturana et al., 1997), (Park et al., 1994) (Parunak et al., 2001)

La aproximación física define naturalmente distintos conjuntos de variables que pueden ser manejados eficientemente por agentes individuales con interacciones limitadas.

3.5. Grado de madurez de las aplicaciones MAS revisadas

El objetivo de este apartado es identificar el tipo de aplicación donde las aplicaciones de los MAS aportan mejores resultados en comparación con la aproximación tradicional.

El resultado de la revisión sugiere que los modelos operativos utilizados por compañías o que están siendo trasladados a productos comerciales son pocos, estando la mayoría de los modelos en fase de emulación.

Indicar que sólo se han encontrado una aplicación en su fase final de producto, aplicados al scheduling y monitoring de procesos continuos (Parunak, 1998).

Entre las aplicaciones en fase de producción (previa a producto final acabado) existe una aplicación para la gestión de la cadena de suministro (Sadeh et al., 1999). (Parunak, 1998) muestra varias aplicaciones para el scheduling de tareas de montajes.

La mayoría de las aplicaciones de los MAS se encuentran en la fase de modelado , (Golfarelli et al., 1997), (Swaminathan et al., 1998), (Bastos et al., 1998), o en su fase de emulado (Parunak et al., 2001) o en su fase de prototipo (Balasubramanian et al., 1996) o (Barbuceanu et al., 1999)

4. Consideraciones finales

Durante la década de los 90 y la primera mitad de la presente década, la investigación en Multi-Agentes ha sido muy intensa y muchos investigadores han contribuido al esfuerzo común de derivarlo a la industria. Sin embargo, a pesar de la densidad de los esfuerzos y proyectos realizados, no existe una idea clara de dónde y cómo los sistemas multi-agente pueden aportar mejores resultados que los modelos tradicionales. Los autores trabajan en descripciones teóricas de hipótesis y de características, pero no aportan indicaciones satisfactorias de su nivel de aplicabilidad. Por tanto, es evidente que sin dar respuestas claras a estas cuestiones fundamentales, la distancia entre investigación y aplicación es muy grande.

En cualquier caso, el paradigma del MAS está caracterizado por algunas propiedades, que dado un contexto de aplicación, su aplicabilidad puede verse reforzada o puede disminuir. Como puntos fuertes de los sistemas multi-agente se pueden destacar cinco puntos para los que las aplicaciones de los MAS son especialmente útiles, que son modularidad descentralización, complejidad, tiempo de aplicación, mal estructuradas (Parunak, 1998):

También se deben señalar las desventajas de la utilización de este tipo de agentes en aplicaciones de producción y control. Estas son No optimalidad y Gran Inversión.

Probablemente el equilibrio entre los pros y los contras de este tipo de aplicaciones de alto riesgo comparados con su efectividad actúa como un desincentivador de desarrollos en la industria, además de una posible falta de receptividad por parte de las empresas de tecnologías novedosas no suficientemente probadas.

5. Bibliografía

Baker, A. . (1992). *Case Study results with the market driven contract net production planning and control systems*. Autofact'92 Society of Manufacturing Engineers

Balasubramanian, S., Norrie, D. H. . (1996). *A multi-agent intelligent design system integrating manufacturing and shop-floor control*. First International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS '95)

Barbarosoglu, G., Ozgur, D., (1999). *Hierarchical design of an integrated production and 2-echelon distribution system*. European Journal of Operational Research 118, 464-484.

Barbuceanu, M., Fox, M. S. . (1995). *COOL: A language for describing coordination in multi agent systems*. ICMAS 95

Barbuceanu, M., Gray, T., Mankovski, S., (1999). *Role of obligations in multiagent coordination*. Applied Artificial Intelligence 13, 11-38.

Bastos, R. M., Oliveira, F. M., (1998). *Decentralized resource allocation planning through negotiation*. In: L. M. Camarinha-Matos (Ed.), *Intelligent Systems for Manufacturing : Multi-Agent Systems and Agent-Organizations*. Kluwer Academic Publishers.

Bongaerts, L., Valckenaers, P. . (1995). *Schedule execution for a holonic shop floor control system*. Advanced Summer Institute (ASI) 95 of the N.O.E. on Intelligent Control of Integrated Manufacturing Systems

Botti, V. J., Giret, A., (2002). *Aplicaciones industriales de los Sistemas Multi-Agente*. Universidad Politécnica de Valencia.

Caridi, M., Cavalieri, S., (2004). *Multi-agent systems in production planning and control: an overview*. Production Planning & Control 15, 106-118.

Caridi, M., Sianesi, A., (2000). *Multi-agent systems in production planning and control: An application to the scheduling of mixed-model assembly lines*. International Journal of Production Economics 68, 29-42.

Daouas, T., Ghedira, K., Muller, J. P. . (1995). *How to schedule a flow shop plant by agents*. Applications of AI in engineering

Dudek, G., (2004). *Collaborative Planning in Supply Chains*. Springer.

Finin, T., Weber, J., Wiederhold, G., Genesereth, M. R., Fritzson, R., McKay, D., McGuire, J., Pelavin, R., Shapiro, S., Beck, C. . (1993). *Specification of KQML as an agent communication language*.

- Fox, M. S., Chionglo, J. F., Barbuceanu, M. . (1993). *The integrated Supply Chain Management Systems*. <http://www.eil.utoronto.ca/public/icsm-intro.pdf>
- Gavirneni, S., Kapuscinski, R., Tayur, S., (1999). *Value of information in capacitated supply chains*. Management Science 45, 16-24.
- Genesereth, M. R., Fikes, R. E. . (1992). *Knowledge Interchange Format, version 3.0, reference manual*.
- Golfarelli, M., Maio, D. . (1997). *A task-Swap Negotiation Protocol Based on the Contract-Net Paradigm*. Universidad de Bolonia.
- Gowdy, J., Rizzi, A. . (1999). *Programming in the architecture for agile assembly*. IEEE International Conference on Robotics and Automation
- Jennings, N., Wooldridge, M., (1998). *A road map of agent research and development*. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems.
- Kanchanasevee, P., Biswas, G., Kawamura, K., Tamura, S. . (1997). *Contract-Net Based Scheduling for Holonic Manufacturing Systems*. SPIE "Architectures Networks, and Intelligent Systems for Manufacturing Integration
- Liu, J. S., Sycara, K. . (1994). *Distributed Problem Solving through coordination en a society of agents*. 13th International Workshop on DAI
- Liu, J. S., Sycara, K. P. . (1996). *Multiagent coordination in tightly coupled task scheduling*. Second International Conference on Multi-Agent Systems
- Maturana, F. P., Norrie, D. H. . (1995). *A generic Mediator for Multi-agent coordination in distributed manufacturing systems*. <http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/publication/Generic.pdf>
- Maturana, F. P., Shen, W., Hong, M., Norrie, D. H. . (1997). *Multi-Agent Architectures for concurrent design and Manufacturing*. <http://www.msg.enme.ucalgary.ca/publication/iasted97.pdf>
- McEleney, B., O'Hare, G. M. P., Sampsons, J. . (1998). *An Agent Based System for Reducing Changeover Delays in a Job-Shop Factory Environment*. <http://www.co.umist.ac.uk/>
- Mori, T., Cutkosky, M. R. . (1998). *Agent based collaborative design of parts in assembly*. ASME design engineering Technical Conference
- Ozawa, M., Cutkosky, M. R., Howley, B. J., (2000). *Model Sharing Among Agents in a concurrent product development team*. In: Knowledge intensive Computer Aided Design. Kluwer Academic Publishers.
- Park, H., Cutkosky, M. R., Soo-Hong, L., (1994). *An agent based approach to concurrent cables harness design*. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing.
- Parunak, H. V., Baker, A. D., Clark, S. J., (2001). *The AARIA agent architecture: From manufacturing requirements to agent-based system design*. Integrated Computer-Aided Engineering 8, 45-58.

- Parunak, H. V. D. . (1998). *Practical and industrial applications of agent-based systems*.
- Parunak, H. V. D., (1994). *Applications of distributed artificial intelligence in industry*. In: Foundations of Distributed Artificial Intelligence. New York:Wiley.
- Peng, Y., Finin, T., Labrou, Y., Chu, B., Long, J., Tolone, W. J., Boughannam, A. . (1998). *A Multi-Agent System for Enterprise Integration*. PAAM'98
- Rosenchein, J. S., Ephrati, E. . (1993). *Multi-Agent Planning as a dynamic search for social consensus*. 13th International Joint Conference on Artificial Intelligence
- Saad, A., Kawamura, K., Biswas, G. . (1995). *Preliminary evaluation of a contract net-based heterarchical scheduling approach for flexible manufacturing systems*. UC/IAMS Workshop on Manufacturing Research
- Sachdev, S., Paredis, C. J. J., Gupta, S. K., Talukdar, S. N. . (1998). *3D spatial layouts using a-teams*. DDECT98 ASME Design Engineering Technical Conference
- Sadeh, N. M., Hildum, D. W., Kjenstad, D., TSeng, A. . (1999). *MASCOT: An agent-based architecture for coordinated mixed-initiative supply chain planning scheduling*. Agents`99 Workshop 'Agent-based decision-support for managing the Internet-enabled supply-chain
- Sauter, J. A., Parunak, H. V. D. . (1999). *ANTS in the supply chain*. Agents`99 Workshop 'Agent-based decision-support for managing the Internet-enabled supply-chain
- Schneeweiss, C., (2003). *Distributed Decision Making*. Springer.
- Shehory, O., Kraus, S., (1998). *Methods for task allocation via agent coalition formation*. Artificial Intelligence 101, 165-200.
- Stadtler, H., Kilger, C., (2002). *Supply Chain Management and Advanced Planning-Concepts, Models, Software and Case Studies*. 2nd edition, Berlin.
- Steels, L., (1995). *When are robots intelligent autonomous agents?* Journal of Robotics and Autonomous Systems.
- Strader, T. J., Lin, F., Shaw, M. J., (1998). *Simulation of order fulfillment in divergent assembly supply chains*. journal of Artificial society and Social Simulation.
- Swaminathan, J. M., Smith, J. S., Sadeh, N. M., (1998). *modelling supply chain dynamics: a multiagent approach*. Decision Science.
- Wooldridge, M., Jennings, N., (1995). *Intelligent Agents: Theory and Practice*. Knowledge Engineering Review.