

El control de planta: una aproximación basada en agentes*

Araúzo Araúzo, José Alberto¹, de Benito Martín Juan José², del Olmo Martínez Ricardo³

¹ Ingeniero Industrial, ETSII. de la UVA, Paseo del Cauce s/n 47011 Valladolid, arauzo@eis.uva.es

² Dr. Ingeniero Industrial, ETSII. de la UVA, Paseo del Cauce s/n 47011 Valladolid, debenito@eis.uva.es.

³ Dr. Ingeniero Industrial, EPS. de la UBU, Avenida Santander s/n 09006 Burgos, rdelolmo@ubu.es.

RESUMEN

El control de planta (SFC) es el conjunto de actividades realizadas en un sistema de fabricación, orientadas a programar y controlar las operaciones que deben ejecutar los diferentes elementos del sistema, para cumplir con la producción planificada. El SFC es un problema muy complejo, sobre todo en los actuales sistemas productivos tipo Job-Shop. Desde la aparición del concepto CIM, se han propuesto muchas alternativas para abordar este problema, pero no se ha llegado aún a una solución definitiva ampliamente aceptada. En este artículo se propone una alternativa basada en el paradigma de los sistemas multi-agentes que puede aportar numerosas ventajas sobre los métodos propuestos con anterioridad.

Palabras claves: control de planta, SFC, job-shop, sistemas multi-agentes.

1. El control de planta.

La transformación y elaboración de objetos por parte del hombre, ha sido de vital importancia en todas las sociedades humanas. Actualmente la fabricación es una de las piedras angulares de nuestra sociedad. Durante los últimos años la producción industrial ha sufrido una transformación bastante profunda y la investigación se ha centrado en varios aspectos de la fabricación, desde los procesos individuales hasta la gerencia de empresas virtuales. Aún así, hay bastantes aspectos en la industria, como el Control de Planta (*Shop Floor Control, SFC*), en los que todavía se presentan problemas relevantes y siguen siendo campos de investigación que constituyen un desafío.

Un sistema de fabricación (SF), puede definirse como un conjunto de elementos interrelacionados, que permite la obtención de bienes mediante la combinación adecuada de los recursos necesarios. La importancia y la cantidad de cada uno de estos recursos dependen del tipo de producto que se quiere fabricar, pero también de la tecnología y de los métodos aplicados.

Todas las actividades necesarias para fabricar están fuertemente relacionadas y por lo tanto será conveniente tratarlas como partes de un mismo sistema. Cada actividad genera, transforma, utiliza información y la transmite hacia otros elementos que realizan otras actividades. Esta manipulación de la información, va a determinar la estructura del sistema productivo y por lo tanto la competitividad de la empresa. Esto implica que en un mercado

* Este trabajo se enmarca dentro del Proyecto DPI2001-1903, financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología.

globalizado y altamente exigente como el actual, la forma de manipular la información será vital, para la supervivencia de la empresa.

Desde este punto de vista, una forma adecuada de mejorar el funcionamiento del sistema productivo será actuar sobre los flujos de información. Esta idea, ampliamente aceptada actualmente, es la base de la “Fabricación Integrada por Ordenador” o CIM (Computer Integrated Manufacturing). Para Chase [1] el CIM es: *“una versión automatizada del proceso de fabricación, en el que las tres funciones principales de dicho proceso –diseño de productos y procesos, planificación y control, y el proceso de fabricación en sí-, son reemplazadas por tecnologías automatizadas. Además los mecanismos de integración tradicionales en materia de comunicación verbal y escrita son reemplazados por tecnología de ordenador”*.

De la definición anterior se puede desprender que los aspectos claves de la filosofía CIM son la automatización y la integración de los diferentes elementos que componen el sistema de fabricación.

Una de las funciones de los proceso de fabricación, integradas en el CIM, es el control de planta (SFC) [1][2]. Es el conjunto de actividades que se realizan en un sistema de fabricación, orientadas a programar y controlar las operaciones que deben ejecutar los diferentes elementos del sistema, para cumplir con la producción planificada. Abarca varios aspectos que se pueden englobar en 2 funciones básicas: programación de operaciones (*Scheduling*) y control de la fabricación en tiempo real (*on-line manufacturing control*).

La programación de operaciones consiste en determinar que operaciones se van a realizar sobre los distintos pedidos, en que momento, en que centro de trabajo o máquina, de forma que se cumplan las fechas de entrega planificadas. Todo ello empleando el menor número de recursos e inventarios posibles. La dificultad de la programación de operaciones va a depender de la configuración del sistema de fabricación, pero en cualquier caso esta considerado un problema NP-completo, y por lo tanto de alta complejidad computacional.

Cuando se calcula el programa o secuencia, es implementado en la planta por un sistema de lanzamiento (*dispatcher*), considerando el estado actual del sistema de producción. Esta función se denomina Control de Fabricación en Tiempo Real (*on-line manufacturing control*). Dentro del Control en Tiempo Real también se incluyen tareas como: supervisión, recogida de datos, control de material en curso, sincronización de máquinas y células, coordinación del transporte, aprovisionamiento de materias primas a las máquinas y células, seguimiento de lotes y de ordenes de trabajo.

Por varias razones el SFC ha demostrado ser un problema muy complejo. En primer lugar, muchos problemas de optimización de la fabricación, como la programación, son problemas computacionalmente complejos, lo que significa que el tiempo de cálculo necesario para encontrar la solución óptima va más allá de los límites razonables de resolución del problema. En segundo lugar, el Control de Planta es objeto de todo tipo de perturbaciones, que van desde errores del modelo y desviaciones estocásticas sobre el tiempo esperado de procesamiento de operaciones, hasta averías de las máquinas. En tercer lugar, los sistemas de fabricación tienden a estar al borde del caos: sistemas con condiciones iniciales idénticas pueden evolucionar hacia situaciones completamente distintas.

Mejorar la eficiencia del SFC es una tarea muy importante dentro de la fabricación. Debido a la creciente competitividad, la rapidez y fiabilidad en las fechas de entrega son esenciales, sin que ello afecte a la calidad y coste final del producto. El SFC afecta al funcionamiento del sistema como un todo, de forma que mejoras relativamente pequeñas pueden dar lugar a grandes ahorros en el funcionamiento global del sistema.

2. Requisitos de los sistemas de control.

En los mercados actuales, caracterizados por una saturación de la oferta, los clientes exigen una demanda personalizada. Una empresa que opere en un mercado de este tipo, deberá adaptarse a las necesidades del cliente para ser competitiva. Esta tendencia, hace que las empresas deban fabricar, en cantidades variables, una amplia variedad de productos de elevada calidad y sin que esto suponga un incremento de costes. El fabricante no sólo va a tener que suministrar al usuario aquello que precise en gama, calidad y precio, si no que además, debido a la enorme competencia existente, debe hacerlo en el instante de tiempo que éste lo requiera. Esta exigencia dará al entorno un dinamismo desconocido hasta el momento. En estas circunstancias, las compañías deben acortar el ciclo de vida del producto, reducir el tiempo de comercialización, incrementar la variedad de productos, satisfacer la demanda instantáneamente y todo esto, manteniendo la calidad y los bajos costes.

El sistema productivo de la empresa debe ser capaz de adaptarse a estas nuevas condiciones tan exigentes. Los características básicas que necesitan los sistemas de fabricación para operar en un mercado de este tipo se pueden resumir con los siguientes conceptos: simplicidad, flexibilidad, reconfigurabilidad, escalabilidad y robustez [3].

Conseguir tal sistema de fabricación, repercute sobre el diseño de todos los elementos que lo componen y por lo tanto sobre el sistema de planificación y control. ¿Qué cualidades debe ser este último para garantizar sistemas de fabricación competitivos en el entorno actual?. Bussman propone las siguientes [4]:

- arquitectura distribuida, basada en productos/recursos
- interacción entre las diferentes entidades abstracta, generalizada y flexible
- comportamiento reactivo y pro-activo
- capacidad de auto-organización

Al afirmar que arquitectura del sistema debe ser distribuida y basada en productos/recursos se pretende decir que el sistema de control debe descomponerse en entidades interrelacionadas. Además estas entidades se deben corresponder con los productos y recursos existentes en el sistema. Esta estructura además de ser sencilla y transparente, ayudara a conseguir la escalabilidad, ya que la introducción o eliminación de productos y recursos se realizará con relativa facilidad.

Además de establecer la estructura del sistema Bussman también establece que la interacción entre las diferentes partes debe ser abstracta, generalizada y flexible. Un componente tiene una interacción abstracta con el resto, cuando no necesita del conocimiento del funcionamiento interno de los otros componentes para interaccionar con ellos. La interacción

será generalizada cuando la posibilidad de interacción esta abierta entre cualquier elemento. La interacción entre componentes se denomina flexible, cuando cada componente decide dinámicamente con quien interactuar.

3. Soluciones propuestas para el SFC.

La confianza en la fabricación flexible y en los sistemas CIM, ha justificado que en las últimas décadas hayan aparecido diferentes estrategias para abordar el problema del control de planta. Las propuestas desarrolladas dependen sobre todo de la arquitectura del sistema [5].

Una arquitectura de referencia proporciona el punto de partida para desarrollar el sistema de control de planta. Identifica las funciones y los componentes necesarios en el SFC. Define datos e interfaces y describe los comportamientos de los componentes individuales y sus interacciones.

Las arquitecturas de control han ido evolucionando a lo largo del tiempo desde formas centralizadas a formas distribuidas [6]. Esta evolución ha dado origen a cuatro tipos de arquitecturas: centralizada, jerárquica, jerárquica modificada y heterárquica. En la figura 1 se pueden observar una representación de estas arquitecturas. Los recuadros representan componentes de control, los círculos representan unidades de fabricación (robots, máquinas, etc..) y las líneas de conexión muestran las interrelaciones entre las diferentes partes.

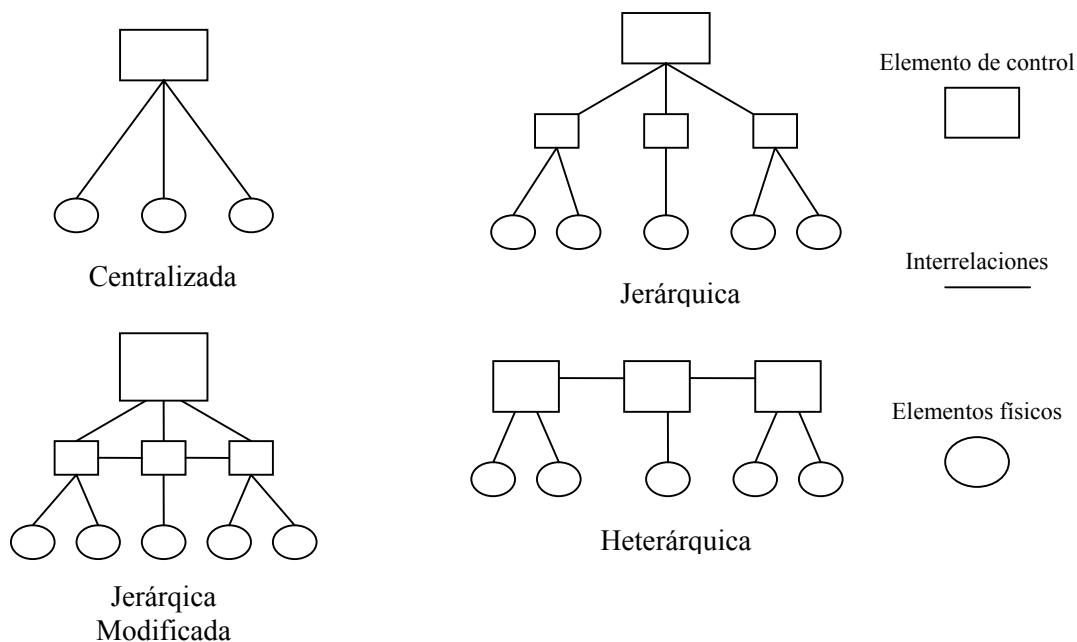


Figura 1. Arquitecturas de control

El control de los sistemas de fabricación se ha realizado tradicionalmente de acuerdo a arquitecturas centralizadas o jerárquicas multi-nivel. La primera se basa en un ordenador central que establece el programa de actividades. Además este ordenador central procesa toda la información proveniente de los sensores, y actualizan las bases de datos. Las responsabilidades de decisión residen en él. Aunque esta arquitectura tiene la simplicidad

como ventaja, los inconvenientes son mucho más importantes: vulnerabilidad a los fallos, dificultad de adaptación a nuevas condiciones.

La arquitectura jerárquica [7] es una evolución de la anterior en la que aparecen controladores en diferentes niveles. Todos los controladores toman decisiones y envían instrucciones a los controladores del nivel inferior que dependen de él. La principal aportación de este esquema es la modularidad, que aunque aumenta la complejidad del sistema mejora sus características en cuanto a facilidad de ampliación, adaptación y tolerancia a fallos.

La arquitectura jerárquica [8] está diseñada para que las comunicaciones se realicen sólo entre niveles (no hay comunicación entre elementos del mismo nivel). Esto limita la capacidad de reacción del sistema de control y la tolerancia a fallos. Esta idea dio lugar a lo que se denomina arquitectura jerárquica modificada, en la que aparecen relaciones entre elementos del mismo nivel.

La arquitectura heterárquica es la evolución lógica de la arquitectura jerárquica modificada. Busca evitar las limitaciones que se derivan de los modelos jerárquicos, mediante una estructura flexible preparada para asumir los cambios necesarios en el entorno. Esta arquitectura se corresponde con un modelo, completamente distribuido. Según este esquema no existen niveles superiores que organicen las planificaciones. Para que el sistema sea viable se deberá establecer unas comunicaciones entre los controladores de igual a igual. Para ello se establece un modelo de negociación, que permite que los controladores logren de común acuerdo la planificación de la producción. Esto hace que el sistema sea flexible, escalable, robusto y se adapte muy bien a las necesidades de fabricación en cada momento. Como contrapartida tiene el inconveniente de que los resultados son difíciles de predecir y optimizar.

Se puede comprobar que estas aproximaciones no cumplen completamente con los requisitos comentados de los sistemas de control actuales comentados en el apartado 2. En los últimos años muchos investigadores han propuesto sistemas basados en agentes para implementar sistemas SFC, altamente distribuidos. Se confía en que estos métodos incorporen al sistema de control la simplicidad, robustez, adaptabilidad, escalabilidad y reconfigurabilidad deseada, con la posibilidad añadida de funcionar de forma cercana al óptimo.

4. Sistemas multi-agentes.

Los sistemas multi-agentes (MAS) constituyen un nuevo paradigma de desarrollo de sistemas software. Nacieron de la investigación en Inteligencia Artificial y más concretamente de la Inteligencia Artificial Distribuida.

Los elementos básicos de los MAS son los agentes. Recientemente se ha escrito mucho acerca de que se puede entender por un agente y que no [9][10]. De forma general todos los autores coinciden en definirlos, como entidades software que tienen una serie de cualidades que los distinguen:

- **Autónomos:** capaces de aproximarse lo más posible a sus objetivos particulares sin que ningún usuario los guíe.

- **Sociales:** programados para interactuar con otros agentes. Esta característica facilita la posibilidad de elaborar sistemas compuestos por varios agentes que colaboran para conseguir un objetivo global determinado.
- **Reactivos o sensibles:** son capaces de percibir estímulos externos y reaccionar ante ellos.
- **Proactivos o oportunistas:** no sólo deben reaccionar ante estímulos, sino que además deben tomar decisiones en función de su estado interno.
- **Inteligentes:** para lo cual debe ser racional, coherente y adaptable. Esta característica es la que más problemas ha suscitado entre los investigadores.
- **Móviles:** es la característica menos importante y hace referencia a la posibilidad que tiene un agente de moverse físicamente por los nodos de una red.

La sociabilidad hace de los agentes software, un concepto muy interesante a la hora de desarrollar sistemas informáticos distribuidos. Los sistemas así contruidos [11][12] son deseables para desarrollar ciertas aplicaciones reales por su:

- **Robusted** o tolerancia a fallos
- **Escalabilidad:** se lograrán sistemas abiertos en los que se pueden añadir o eliminar componentes continuamente.
- Posibilidad de **distribución de la carga** de procesamiento entre los nodos de una red.
- Posibilidad de **coordinación y negociación** con el fin de encontrar soluciones globalmente óptimas de forma distribuida.

Estas posibilidades han hecho que muchos investigadores hayan propuesto utilizar la tecnología de agentes para resolver una amplia cantidad de problemas [13][14]. Así se han desarrollado aplicaciones multi-agente de comercio electrónico, telecomunicaciones, servicios de Internet, interfaces de usuario, sistemas móviles, simulación de sistemas sociales, etc. En el ámbito industrial se han propuesto los MAS para resolver problemas, que tras largos años de investigación con sistemas tradicionales, siguen sin solucionarse de forma satisfactoria. Dentro de estos campos destacan aquellos relacionados con la integración empresarial, y el desarrollo de sistemas de información. Un caso particular de aplicación de los MAS, es en el control de planta de los sistemas de fabricación, tema que nos ocupa en este artículo [15][16][17].

4. Sistemas multi-agente para el SFC.

En este artículo se propone un sistema multi-agente como alternativa a los sistemas de control de planta tradicionales. Para ello habrá que definir los 3 aspectos fundamentales de un MAS: agentes que intervienen en el sistema, ontología e interacción entre agentes. Para implementar el sistema se ha usado la plataforma de desarrollo JADE (Java Agent DEvelopment Framework) [18] inspirada en el estándar FIPA (Foundation for Physical Intelligent Agents) [19].

5.1 Agentes

Un aspecto clave de todo sistema multi-agente es, la concreción de los agentes que van a formar parte de él. En este aspecto, la totalidad de autores esta de acuerdo en que los agentes deben representar los diferentes elementos que aparecen en el sistema productivo, sobre todo productos y recursos. Nosotros hemos definido 4 tipos de agentes: [Figura 2] BaseDatosAgent, SFCCoordinadorAgent, OrdenAgent y MaquinaAgent.

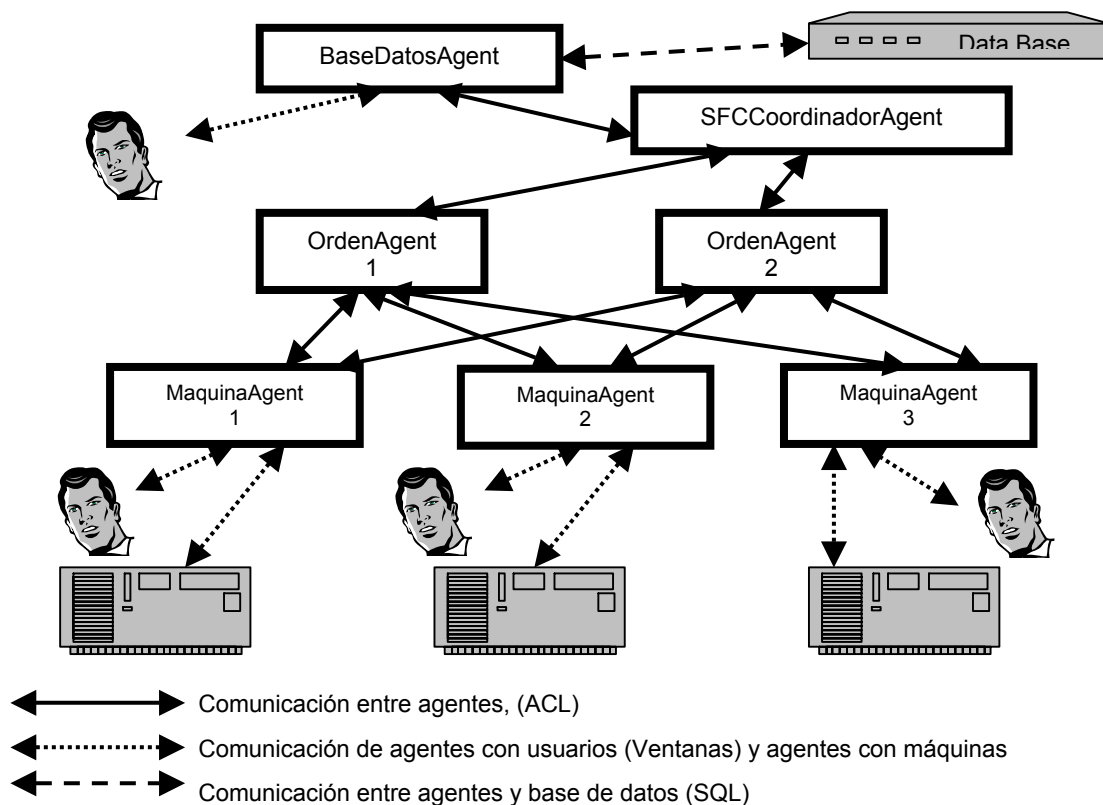


Figura 2. Estructura del sistema multi-agente para el SFC.

Los agentes del tipo **BaseDatosAgent** son los que tienen acceso a una Base de Datos donde se encuentra la información técnica de los productos y los pedidos que hay que fabricar con sus fechas de entrega determinadas. Los usuarios del sistema tienen la posibilidad de usar una ventana asociada a este agente con la que pueden grabar y leer en la base de datos. La misión fundamental de este agente es obtener de la base de datos los pedidos que están pendientes y comunicar al SFCCoordinadorAgent que ordene la fabricación de estos pedidos. Aunque en el sistema pueden existir varios agentes de este tipo, en nuestro sistema solo hay uno.

Otro tipo de agente, que aparece en el sistema, es el **SFCCoordinadorAgent**. Este agente recibe los pedidos de BaseDatosAgent y crea tantos OrdenAgent como pedidos haya que fabricar. Según se van realizando operaciones sobre los diferentes pedidos, los OrdenAgent van comunicando al SFCCoordinador su estado de fabricación. Cuando un pedido se ha terminado el SFCCoordinadorAgent se lo comunica al BaseDatosAgent para que este grabe en la base de datos, la fabricación del pedido correspondiente.

Los **OrdenAgent** son agentes que representa los pedidos que hay que fabricar y hay tantos como pedidos pendientes. Su principal misión es negociar con los **MaquinaAgent** cuando se va a realizar cada trabajo necesario para la consecución del producto. Además estos agentes mantendrán informado al **SFCCoordinadorAgent** de la marcha de la fabricación.

Los **MaquinaAgent** son los agentes relacionados con las máquinas existentes en el sistema de fabricación, por lo que habrá tantos como máquinas. Estos agentes negocian con los **OrdenAgent** los trabajos que debe realizar la máquina a la que están asociados. Una vez acordado realizar un determinado trabajo para un **OrdenAgent**, el **MaquinaAgent** enviará las instrucciones necesaria a la máquina para que esta opere. El agente seguirá la marcha de la fabricación se lo comunicará al **OrdenAgent**. Los usuarios tienen la posibilidad de configurar parámetros de este tipo de agentes como, la comunicación con la máquina física, operaciones que la maquina puede realizar, etc, a través de una ventana.

5.2 Ontología

La interacción entre los agentes de un MAS se basa en el intercambio de mensajes. Estos mensajes contienen cierta información que deben ser capaz de interpretar los agentes receptores. Para que todos los agentes se puedan comunicar se elabora una ontología que estructura y define la información que se envían entre ellos. Aunque la definición de la ontología no es una cuestión estrictamente necesaria en el desarrollo de sistemas multi-agentes, en nuestro sistema si que se ha definido una. De esta forma se facilita el diseño e implementación del sistema, así como la posibilidad de incluir nuevos tipos de agentes en un futuro.

5.3 Interacción entre agentes

La mayoría de tareas que realizan los agentes, son actos comunicativos. La regulación de estas comunicaciones es de vital importancia para que el sistema cumpla con su objetivo. Con el fin de garantizar el adecuado intercambio de mensajes, FIPA ha definido un sistema de comunicación llamado ACL (Agent Communication Language). Un aspecto básico de este sistema de comunicación es el control de la conversación, que esta determinada por los protocolos de comunicación. FIPA establece varios de estos protocolos, de los cuales nosotros hemos implementado dos: “Request-Protocol” y “Contract-Net-Protocol”

El “Request Protocol”: se utiliza para pedir servicios a otros agentes. El agente iniciador pide a un segundo la realización de una tarea, el segundo confirma si la va a realizar o no y una vez realizada envía un informe con el resultado de la acción. En nuestro sistema se ha usado este protocolo para implementar la petición de fabricación de pedidos que el agente **BaseDatosAgent** realiza al agente **SFCCoordinadorAgent**, y para la petición que hace éste último a cada **OrdenAgent**.

El “Contract-Net-Protocol” es un protocolo donde el agente iniciador pretende contratar a un segundo para realizar, una determinada tarea, para lo cual inicia la conversación con una petición de oferta. El segundo agente devuelve una oferta y si el agente iniciador la encuentra satisfactoria la acepta y confirma la aceptación al segundo. Cuando este último ha realizado la tarea envía un informe al agente iniciador.

Este protocolo ha sido propuesto por varios investigadores para implementar la negociación entre ordenes y máquinas. La forma en que se realice este protocolo (que agente es iniciador, como se selecciona la oferta, etc) va a tener una marcada influencia en la secuencia de operaciones que realizan las máquinas y por lo tanto en la eficiencia del sistema. En nuestro caso los agentes iniciadores son los MaquinaAgent que solicitan trabajo a los OrdenAgent. Los OrdenAgent ofertan una serie de trabajos a los MaquinaAgent, que serán seleccionados en función de su urgencia.

6. Conclusiones y trabajos futuros

La tecnología basada en agentes nos ha permitido diseñar un sistema de control de planta que cumple los requisitos expuestos en el apartado 2: es flexible, ágil, escalable, reconfigurable y robusto. En este sistema la coordinación de tareas se realiza por negociación entre los agentes que representan los pedidos, con los agentes que representan las máquinas. Esta negociación se ha implementado, mediante el "Contract-Net Protocol" especificado por FIPA.

Esta forma de proceder, proporciona al sistema alta capacidad de respuesta a perturbaciones, pero en contrapartida, establece secuencias de fabricación que no tienen ninguna garantía de estar cerca del óptimo. Para solucionar este problema, sin renunciar a la robusted conseguida, se esta pensando en incorporar al "Contract-Net Protocol" una regla de aceptación de las ofertas basada en un precio de mercado. Este precio de mercado se establecerá entre los agentes, mediante una negociación, que se realizará de forma paralela y asíncrona con respecto al "Contract-Net Protocol" que concreta las acciones a realizar por las máquinas.

Referencias

- [1] R. B. Chase, N. J. Aquilano and F. R. Jacobs., "Production and Operations Management. Manufacturing and Services", McGraw-Hill. 1998. pp 129 – 138
- [2] L. Bongaerst, "*Integration Of Scheduling And Control In Holonic Manufacturing Systems*". Ph.D. Dissertation 1998, K.U.Leuven, PMA Division.
- [3] Shen W. and Norrie, D.H., *Agent-Based Approaches for Intelligent Manufacturing: A State-of-the-Art Survey*, Knowledge and Information Systems, an International Journal, 1998 1(2), 129-156.
- [4] S. Bussmann and D.C. McFarlane., *Rationales for Holonic Manufacturing Control*, 2nd Workshop on Intelligent Manufacturing Systems, Leuven, Belgium 1999, pp. 174-184.
- [5] M.K. Senehi and T.R. Kramer, *A Framework for Control Architectures*. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 1998 Vol. 11, pp 347 – 363.
- [6] D.M. Dilts, N.P. Boyd and H.H. Whorms, *The Evolution of Control Architectures for Automated Manufacturing Systems*, Journal of Manufacturing Systems, 1991 10(1), pp 79-93.
- [7] K. W. Keung, W. H. Ip and D. Yuen, *An intelligent hierarchical workstation control model for FMS*, Journal of Materials Processing Technology.
- [8] N.A. Duffie and V.V. Prabhu., *Heterarchical Control of Highly distributed manufacturing systems*, International Journal of of Computer Integrated Manufacturing, 1996, Vol 9, N°4, pp 270-281.
- [9] V. Botti, C. Carrascosa, V. Julian and J. Soler. *The ARTIS Agent Architecture: Modelling Agents in Hard Real-Time Environments*. Proceedings of the MAAMAW'99. Lecture Notes In Computer Science, vol. 1647. Springer - Verlag (pag. 63-76), Valencia 1999.

ISBN 3-540-66281-2.

- [10] Franklin, S. and Graesser, A: Is it an *Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents*. Proceedings of the Third International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages. 1996 Springer-Verlag.
- [11] Jennings, N. and Wooldridge, M, *Applications of Intelligent Agents*. Queen Mary & Westfield College 1998. University of London.
- [12] Parunak, H. Van Dyke and Odell, James, *Engineering Artifacts for Multi-Agent Systems*, ERIM CEC. 1999.
- [13] Sayyed M. Deen, *Agent Based Manufacturing: Advances in the Holonic Approach*, Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH 2002.
- [14] Weiming Shen, Jean-Paul Barthaes, D. H. Norrie, *Multi-Agent Systems for Concurrent Intelligent Design and Manufacturing*, Weiming Shen, Jean-Paul Barthaes, D. H. Norrie Taylor and Francis, Incorporated, 2001.
- [15] J. Lazanský, O. Stepankova, V. Marýk and Pechoucek, *Application of the multi-agent approach in production planning*. Engineering Applications of Artificial Intelligence 14, 2001, pp 369–376
- [16] T. Heikkilä, M. Kollingbaum, P. Valckenaers and G.J. Bluemink, *An Agent Architecture for Manufacturing Control: manAge*. Computers in Industry, 2001, N° 46, pp 315-331.
- [17] M.K. Lim and Z Zhang, A Multi-agent Based Manufacturing Control. Strategy for Responsive manufacturing. Journal of Materials Processing Technology 2003. Article in press.
- [18] <http://sharon.cselt.it/projects/jade/> 2003
- [19] <http://www.fipa.org/> 2003.